

**А.Ф. Зайцев***Восточно-Сибирский государственный  
университет технологий и управления,  
г. Улан-Удэ, Российская Федерация*

## **Агентно-модульный подход к проектированию и реализации программных систем на основе имитационного моделирования**

**Аннотация.** В работе рассматривается проблема моделирования и проектирования программных компьютерных систем. В статье кратко излагаются содержательные аспекты различных этапов реализации программных комплексов и систем. Приводится методика исследования и анализа систем, использующая метод компьютерного имитационного моделирования. Целью работы является создание нового универсального подхода к проектированию и реализации программных систем различного уровня сложности.

В процессе исследования были использованы следующие общенаучные методы: системный анализ, синтез, формализация, моделирование, декомпозиция, структурирование, описание, сравнение. В качестве материалов исследования использовались компьютеры и инструментальные средства разработки программного обеспечения.

В результате исследования предложен универсальный агентно-модульный подход к проектированию и реализации программных систем на основе имитационного агентного моделирования. Рассмотрены процессы моделирования и проектирования программных систем, их этапы, а также показана возможность их интеграции в рамках описываемого подхода. Приведены примеры формальной модели и структуры проектируемой программной системы на основе агентно-модульного подхода.

Предложенный подход может быть использован в процессе разработки программного обеспечения на начальных этапах, связанных с моделированием и проектированием программных систем. Интеграция этапов моделирования и проектирования в агентно-модульном подходе позволит значительно сократить время разработки программного обеспечения, а также упростить сам процесс проектирования, сделав его более понятным и формализованным.

Материалы статьи представляют научную и практическую ценность для широкого круга специалистов, интересующихся системным анализом, моделированием, проектированием и реализацией программных систем.

**Ключевые слова.** Агентно-модульный подход, подход к проектированию, имитационное моделирование, проектирование программных систем.

**Информация о статье.** Дата поступления: 16 мая 2023 г.; дата принятия к публикации: 19 июня 2023 г.; дата онлайн-размещения: 28 сентября 2023 г.

Original article

A.F. Zaytsev

*East Siberian State University  
of Technology and Management,  
Ulan-Ude, Russian Federation*

## **Agent-Module Approach to the Design and Implementation of Software Systems Based on Simulation Modeling**

**Abstract.** The paper examined the problem of modeling and design of software computer systems. The article briefly describes the content aspects of the various stages of the implementation of software complexes and systems. The methodology of research and analysis of systems, which uses the method of computer simulation modeling, is given. The aim of the work is to create a new universal approach to the design and implementation of software systems of various levels of complexity.

During the study, the following general scientific methods were used: system analysis, synthesis, formalization, modeling, decomposition, structuring, description, comparison. The materials used in the study were: computers and software development tools.

As a result of the study proposed a universal agent-module approach to the design and implementation of software systems based on simulation agent-based modeling. The study presents the processes of modeling and designing software systems, their stages, and the possibility of their integration within the described approach. Examples of formal model and structure of the software system under design based on the agent-module approach are presented.

The proposed approach can be used in the process of software development at the initial stages related to modeling and designing of software systems. Integration of modeling and design stages in the proposed approach will significantly reduce software development time and simplify the design process by making it clearer and more formalized.

Materials of the article are of scientific and practical value for a wide range of specialists interested in system analysis, modeling, design and implementation of software systems.

**Keywords.** Agent-module approach, designing approach, simulation modeling, software systems development.

**Article info.** Received 16 May, 2023; Accepted 19 June, 2023; Available online 28 September, 2023.

---

## **Введение**

Разработка сложных программных систем начинается с системного анализа, после которого окончательно определяется количество решаемых задач, сложность, стоимость и сроки исполнения проекта. Таким образом, системный анализ представляет собой основу проектирования программных систем и является итеративным процессом, основная цель которого – определение полного комплекса предъявляемых требований к разрабатываемому проекту и критериев его удовлетворенности. Этот процесс может продолжаться от нескольких недель до нескольких месяцев, в зависимости от поставленной цели, предъявляемых требований и количества решаемых задач. В настоящее время существует мно-

жество практических методик по проектированию программных систем, которые основаны на различных парадигмах программирования [1–6]. Тем не менее, проблема анализа и проектирования программных систем различного уровня сложности не теряет своей актуальности.

В работе предложен универсальный агентно-модульный подход к проектированию и реализации программных систем на основе имитационного агентного моделирования. Рассмотрены процессы моделирования и проектирования программных систем, их этапы, а также показана возможность интеграции этих этапов в рамках описываемого подхода. Приведены примеры формальной модели и структуры проектируемой программной системы на основе агентно-модульного подхода. Предлагаемый подход может быть использован в процессе разработки программного обеспечения на стадиях, связанных с моделированием и проектированием программных систем. Интеграция моделирования и проектирования в предложенном подходе позволит значительно сократить время разработки программного обеспечения, а также упростить сам процесс проектирования, сделав его более понятным и формализованным.

### **Применение моделирования в проектировании программных систем**

Проектирование — процесс определения архитектуры системы в виде совокупности величин, параметров, функций и других характеристик, описываемых в форме, пригодной для её реализации [7–9]. Проектирование выполняется поэтапно в соответствии со стадиями, регламентированными ГОСТ России<sup>1</sup>.

После реализации программные системы становятся разработанной информационной технологией (набором инструкций для описания технологического процесса преобразования входной информации в выходную), которая материализуется у заказчиков в виде автоматизированных систем и инструментов их обслуживания. Главную роль в определении архитектуры программных систем играет моделирование структуры системы, моделирование взаимодействия между составными частями системы и моделирование взаимодействия системы с окружающей средой.

Моделирование — общенаучный метод изучения систем (объектов и процессов) по их моделям, используемый в целях познания, исследования, проектирования и принятия решений [10; 11]. Таким образом, при моделировании часто возникает задача

<sup>1</sup> ГОСТ 2.103-2013. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки. Москва : Стандартинформ, 2019; ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. Москва : Стандартинформ, 2011.

формального описания функционирования системы в целом. Методология системного анализа включает в себя разные методы моделирования, позволяющие решать две основные задачи:

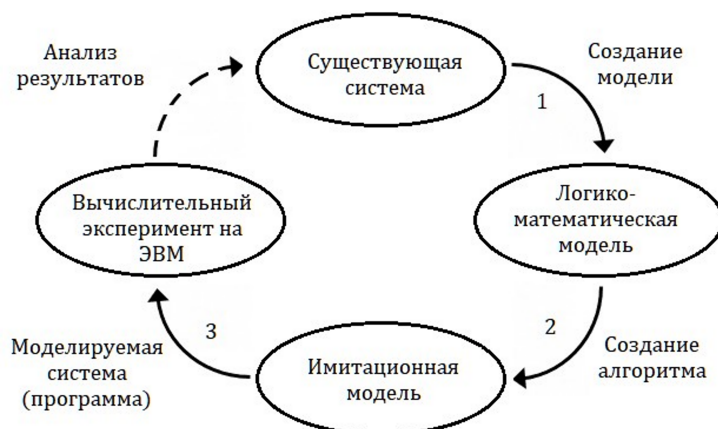
- задачу анализа, связанную с изучением свойств и поведением системы в зависимости от ее структуры и значений параметров;
- задачу синтеза, связанную с выбором или определением структуры системы и значений параметров, исходя из желаемых свойств системы в целом.

Методы моделирования сложных систем подразделяются на две большие категории: физическое (материальное) моделирование и математическое (абстрактное) моделирование [12; 13]. Математическое моделирование также подразделяют на аналитическое и имитационное. В предложенном подходе для проектирования программных систем используется компьютерное имитационное моделирование [14–16].

Компьютерное имитационное моделирование — метод конструирования модели существующей или проектируемой системы и постановки экспериментов на ней. В общем случае имитационное моделирование представляет собой более мощное средство анализа сложных систем. Процесс, тесно связанный с моделированием поведения и функционирования системы, в рамках экспериментов с её моделью, называют имитацией или симуляцией.

На рис. 1 приведена методика исследования системы с использованием метода имитационного моделирования.

Компьютерная имитационная модель — логико-математическое описание системы, которое может быть использовано для экспериментирования на компьютере в целях анализа, проектирования и оценки эффективности её функционирования.



**Рис. 1. Методика исследования системы методом имитационного моделирования**

Составными частями имитационной модели являются: структура системы, т.е. описание совокупности элементов и связей между ними; средства воспроизведения поведения системы; свойства среды, в которой функционирует исследуемая система. Эти части носят логико-математический характер и представляются в виде совокупности алгоритмов, описывающих динамику функционирования систем.

Имитационное моделирование позволяет достаточно просто учитывать такие факторы как наличие дискретных и непрерывных элементов, нелинейные характеристики элементов, запаздывание и т.д. Взаимодействие элементов сложной системы характерно тем, что оно может происходить дискретно в определенные моменты времени, которые либо заданы, либо определяются выполнением каких-то условий, либо являются следствием определенных случайных событий. Имитируемые процессы в сложных программных системах могут протекать параллельно, взаимодействуя только в определенные моменты времени.

Таким образом, в качестве имитационной модели, как правило, выступает программная реализация модели на вычислительной машине, а имитационное моделирование сводится к проведению экспериментов с моделью путем прогонки программы на некотором множестве входных данных (управляемых и неуправляемых) [17–19].

Имитационное моделирование позволяет экспериментально исследовать сложные внутренние взаимодействия в рассматриваемой системе, изучать воздействие на функционирование системы различного рода факторов, в том числе и случайных, и проследить их влияние. Детальные компьютерные эксперименты с имитационной моделью системы позволяют лучше понять законы ее функционирования и разработать предложения по ее улучшению, которые были бы невозможны без имитации.

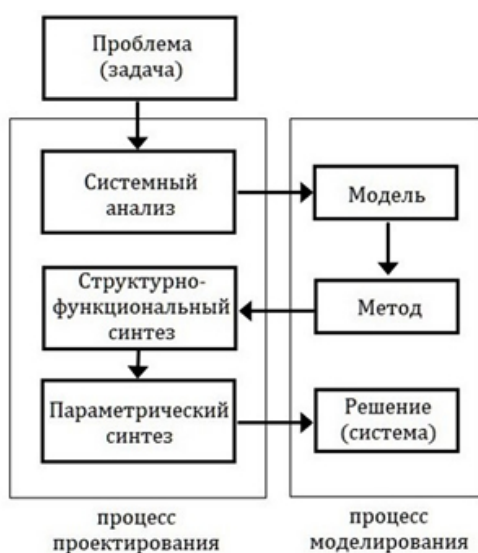
В частности, имитационные модели, могут использоваться в подходах к проектированию современных информационных систем обработки информации и управления для оценки эффективности их функционирования. Модели имитации могут строиться как до, так и после реализации проекта системы с заданными параметрами. Высокая адекватность имитационного моделирования следует из того, что сама структура имитационной модели близка к функциональной структуре моделируемой системы. В имитационном моделировании представляется возможность комплексного исследования альтернативного поведения системы с целью поиска оптимального управления, а статистический эксперимент в имитационном моделировании позволяет найти этот оптимальный вариант.

Проведение имитационного моделирования также позволяет более эффективно отражать случайные, стохастические явления и

процессы в различных системах. При этом имитационное моделирование не всегда использует статистические методы, которые базируются на методе статистических испытаний – методе Монте-Карло (стохастическое моделирование). Это делается только по необходимости и с соответствующим обоснованием [20; 21].

### *Агентно-модульный подход к проектированию программных систем*

Исходя из вышеизложенного для реализации программных систем можно сформулировать и предложить следующий подход, схематично изображенный на рис. 2.



*Рис. 2. Агентно-модульный подход к проектированию и реализации программных систем*

Предложенный подход представляет собой интеграцию этапов процесса моделирования с этапами процесса проектирования:

1. Выполняется системный анализ поставленной проблемы и определение требований к реализуемой системе. Если существует компьютерная модель данной системы, то выполняется её анализ (структурный, функциональный, параметрический и др.).

2. Из результатов проведенного анализа и поставленных задач конструируется логико-математическая модель системы.

3. Выбирается и описывается метод или методы решения поставленных задач, использующие полученную модель системы.

4. Модель и методы включаются и используются на этапе структурно-функционального синтеза алгоритмов компьютерной модели системы.

5. Выполняется этап параметрического синтеза, на котором происходит определение и корректировка допустимых числовых значений параметров для элементов компьютерной модели системы (типы данных, диапазоны значений, значения по умолчанию и пр.).

6. Проводится имитация вычислений с компьютерной имитационной моделью системы, а также получение и проверка результатов решения.

Известно, что по способу описания структуры и поведения системы в имитационном моделировании выделяют следующие его виды: системная динамика, дискретно-событийное и агентное моделирование [22–24].

Основная идея, лежащая в основе имитационного агентного моделирования, заключается в построении вычислительной модели мультиагентной системы, представляющей собой набор агентов и позволяющей воспроизводить имитацию вычислений решения различного рода задач. Многоагентные имитационные модели содержат распределённые агенты, которые не имеют возможности достижения цели в одиночку и, следовательно, должны взаимодействовать друг с другом [25].

В агентно-модульных моделях программных систем агентами будут являться программные модули, которые вступают в отношение посредничества с другими модулями системы, а также с пользователем или другими системами (внешней средой).

В агентно-модульном подходе предлагается объединить метод имитационного агентного моделирования с подходом модульного проектирования программных систем. В результате этого становится возможным более просто и формально описывать системы и процессы их функционирования в виде агентно-модульных моделей.

Например, пусть функционирование некоторой программной системы  $S$  описывается по времени  $t$  некоторым оператором  $Fs$ , который преобразует независимые переменные  $(x_i, p_j, f_k)$  в соответствии со следующим соотношением:

$$\overrightarrow{Y(t)} = Fs(\overrightarrow{X}, \overrightarrow{P}, \overrightarrow{F}, t), \quad (1)$$

где  $\overrightarrow{X(t)} = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}$  – множество входных параметров,  $\overrightarrow{P(t)} = \{p_1(t), p_2(t), \dots, p_n(t)\}$  – множество внутренних параметров системы,  $\overrightarrow{F(t)} = \{f_1(\overrightarrow{X}, t), f_2(\overrightarrow{X}, t), \dots, f_n(\overrightarrow{X}, t)\}$  – множество правил взаимодействия,  $Y(t) = \{y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)\}$  – множество выходных параметров.

Переменные  $(x_i, p_j, f_k)$  являются элементами непересекающихся подмножеств и могут содержать как детерминированные, так и стохастические значения.



Каждый агент имеет свой собственный набор параметров:  $\overrightarrow{Pa}(t) = \{pa_1(t), pa_2(t), \dots, pa_n(t)\}$ , а также набор правил:  $\overrightarrow{Fa}(t) = \{fa_1(\vec{X}, t), fa_2(\vec{X}, t), \dots, fa_n(\vec{X}, t)\}$  которые осуществляют взаимодействие с другими агентами.

Взаимодействие между агентами происходит посредством вызовов их правил (функций) и может быть описано следующим образом:

$$\overrightarrow{Ya} = Call Fa(\overrightarrow{Xa}, t),$$

где  $Fa$  – имя функции агента,  $Xa$  – входные параметры для функции агента,  $Ya$  – возвращенные функцией агента значения результатов.

Текущее состояние системы описывается набором её внутренних параметров  $\overrightarrow{P}(t)$ . Изменение значений данных параметров свидетельствует о переходе системы в другое состояние, согласно определенным правилам  $\overrightarrow{F}(t)$ .

### Результаты и их обсуждение

Таким образом, использование предложенного подхода и описания функционирования систем в виде агентно-модульных моделей позволяет значительно упростить процесс проектирования программных систем, сделав его более понятным и формализованным. Отличительной особенностью подхода является и то, что агентно-модульные модели можно достаточно легко изображать в виде рисунков, представляющих структурные схемы проектируемых систем.

На рис. 3 представлена структурная схема проектируемой программной экспертной системы, которую легко можно описать в виде агентно-модульной модели, применив предложенный подход.

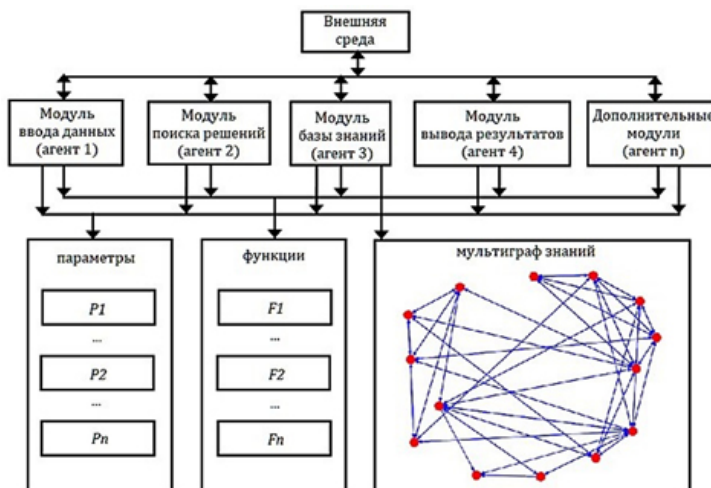


Рис. 3. Структурная схема проектируемой программной экспертной системы



Структура системы состоит из множества модулей, которые могут включать разнообразные методы решений, описанные в отдельности своими собственными моделями (например, модуль базы знаний в виде модели мультиграфа знаний).

Предлагаемый подход также применим к проектированию и реализации распределенных программных систем, в которых данные  $X$  передаются сначала узлу, который выполняет функции агента  $Fa_1$ , затем передает результат второму узлу, для вычислений функциями агента  $Fa_2$ , и, наконец, третьему узлу, который вычисляет результат функциями агента  $Fa_3$ . Подобный алгоритм можно представить в виде следующей суперпозиции функций:

$$\overrightarrow{Y(t)} = Fa_1(Fa_2(Fa_3(\vec{X}, t), t), t), \quad (2)$$

Таким образом, данные могут обрабатываться последовательно или параллельно с помощью функций распределённых и автономных агентов. Предложенный подход также хорошо сочетается с множеством практических методик проектирования программных систем: MVC, MVP, MVVM и др. [26].

### Заключение

В результате проведенного исследования были рассмотрены методы имитационного и агентного моделирования. Сформулирован и предложен универсальный агентно-модульный подход к проектированию и реализации программных систем на основе имитационного агентного моделирования. Рассмотрены процессы моделирования и проектирования программных систем, их этапы, а также показана возможность их интеграции в предложенном подходе. Приведены примеры формальной агентно-модульной модели и структуры проектируемой программной системы на её основе в рамках описанного подхода.

С применением агентно-модульного подхода в будущем предполагается спроектировать и реализовать программную экспертную систему для решения проблем моделирования предметных областей и представления знаний. Результаты исследований по эффективности алгоритмов и методов упомянутой экспертной системы являются частью диссертационного исследования и представлены в других работах автора [27; 28].

### Список использованной литературы

1. Брежнев Р.В. Методы и средства проектирования информационных систем и технологий : учеб. пособие / Р.В. Брежнев. — Красноярск : Изд-во Сиб. федер. ун-та, 2021. — 216 с.
2. Достовалов Д.Н. Объектно-ориентированный анализ и проектирование. Задачи и примеры на C++ : учеб. пособие / Д.Н. Достовалов, О.В. Лауферман. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2022. — 74 с.

3. Паттерны объектно-ориентированного проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Дж. Влиссидес. — Санкт-Петербург : Питер, 2021. — 448 с.
4. Грекул В.И. Проектирование информационных систем : учебник и практикум / В.И. Грекул, Н.Л. Коровкина, Г.А. Левочкина. — Москва : Юрайт, 2019. — 385 с.
5. Нейгард М. Release it! Проектирование и дизайн ПО для тех, кому не всё равно / М. Нейгард. — Санкт-Петербург : Питер, 2022. — 320 с.
6. Проектирование информационных систем : учебник и практикум / Д.В. Чистов, П.П. Мельников, А.В. Золотарюк, Н.Б. Ничепорук ; под общ. ред. Д.В. Чистова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Юрайт, 2023. — 293 с.
7. Лаврищева Е.М. Программная инженерия и технологии программирования сложных систем : учебник / Е.М. Лаврищева. — 2-е изд. — Москва : Юрайт, 2019. — 432 с.
8. Орлов С.А. Программная инженерия : учебник / С.А. Орлов. — 5-е изд. — Санкт-Петербург : Питер, 2021. — 640 с.
9. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) version 2.7. / A. Pyster, D. Olwell, N. Hutchison [et al]. — Hoboken : Stevens Institute of Technology, 2022. — 1071 p.
10. Княжский А.Ю. Моделирование процессов и систем : учеб. пособие / А.Ю. Княжский, В.А. Небылов. — Санкт-Петербург : Изд-во ГУАП, 2020. — 91 с.
11. Советов Б.Я. Моделирование систем : учебник / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. — 7-е изд. — Москва : Юрайт, 2021. — 343 с.
12. Зализняк В.Е. Введение в математическое моделирование : учеб. пособие / В.Е. Зализняк, О.А. Золотов. — Москва : Юрайт, 2023. — 133 с.
13. Каштаева С.В. Математическое моделирование : учеб. пособие / С.В. Каштаева. — Пермь : Прокрость, 2020. — 112 с.
14. Акопов А.С. Имитационное моделирование : учебник и практикум / А.С. Акопов. — Москва : Юрайт, 2023. — 389 с.
15. Древис Ю.Г. Имитационное моделирование : учеб. пособие / Ю.Г. Древис, В.В. Золотарёв. — 2-е изд. — Москва : Юрайт, 2023. — 142 с.
16. Боев В.Д. Имитационное моделирование систем : учеб. пособие / В.Д. Боев. — Москва : Юрайт, 2023. — 253 с.
17. Королев А.Л. Компьютерное моделирование : учеб. пособие / А.Л. Королев. — Челябинск : Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, 2019. — 189 с.
18. Белякова А.Ю. Имитационное моделирование : учеб. пособие / А.Ю. Белякова. — Иркутск : Изд-во ИрГАУ, 2020. — 120 с.
19. Черникова О.С. Компьютерное моделирование : учеб. пособие / О.С. Черникова, В.С. Карманов. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2021. — 100 с.
20. Вдовин В.М. Теория систем и системный анализ : учебник / В.М. Вдовин, Л.Е. Суркова, В.А. Валентинов. — 3-е изд. — Москва : Дашков и К, 2016. — 644 с.
21. Дрогобыцкий И.Н. Системный анализ в экономике : учебник / И.Н. Дрогобыцкий. — 3-е изд. — Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2017. — 607 с.
22. Павловский Ю.Н. Имитационное моделирование : учеб. пособие / Ю.Н. Павловский, Н.В. Белотелов, Ю.И. Бродский. — Москва : Академия, 2008. — 236 с.
23. Веремчук Н.С. Элементы имитационного моделирования : учеб.-метод. пособие / Н.С. Веремчук. — Омск : Изд-во СибАДИ, 2021. — 152 с.
24. Вьюненко Л.Ф. Имитационное моделирование : учебник и практикум / Л.Ф. Вьюненко, М.В. Михайлов, Т.Н. Первозванская ; под ред. Л.Ф. Вьюненко. — Москва : Юрайт, 2023. — 283 с.
25. Тихвинский В.И. Многоагентное моделирование : учеб.-метод. пособие / В.И. Тихвинский, В.В. Холмогоров, В.А. Морозов. — Москва : Изд-во МИРЭА, 2022. — 103 с.

26. Garcia R.F. iOS Architecture Patterns: MVC, MVP, MVVM, VIPER, and VIP in Swift / R.F. Garcia. — Berkeley : Apress, 2023. — 397 p.

27. Зайцев А.Ф. Метод поиска и логического вывода экспертной информации в ориентированном циклическом мультиграфе знаний / А.Ф. Зайцев. — DOI 10.38028/ESI.2022.28.4.017. — EDN NXJJRC // Информационные и математические технологии в науке и управлении. — 2022. — № 4 (28). — С. 213–222.

28. Зайцев А.Ф. Анализ эффективности алгоритмов вычисления в информационной системе логико-математического моделирования / А.Ф. Зайцев, В.А. Кравченко, Д.Ш. Ширапов. — DOI 10.18101/2304-5728-2020-2-3-14. — EDN SHKQXF // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. — 2020. — № 2. — С. 3–14.

## References

1. Brezhnev R.V. Methods and tools for designing information systems and technologies. Krasnoyarsk, Siberian Federal University Publ., 2021. 216 p.

2. Dostovalov D.N., Lauferman O.V. *Object-oriented analysis and design. Tasks and examples in C++*. Novosibirsk State Technical University Publ., 2022. 74 p.

3. Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. *Design Patterns. Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Boston, Addison Wesley Longman, 1995. 416 p. (Russ. ed.: Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. *Design Patterns. Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Saint Petersburg, Piter Publ., 2021. 448 p.).

4. Grekul V.I., Korovkina N.L., Levochkina G.A. *Design of information systems*. Moscow, Yurait Publ., 2019. 385 p.

5. Nygard M.T. *Release it! Design and Deploy Production-Ready Software*. Raleigh, N.C., Pragmatic Bookshelf, 2007. 350 p. (Russ. ed.: Nygard M.T. *Release it! Design and Deploy Production-Ready Software*. Saint Petersburg, Piter Publ., 2022. 320 p.).

6. Chistov D.V., Melnikov P.P., Zolotaryuk A.V., Nicheporuk N.B.; Chistov D.V. (ed.). *Information systems design*. Moscow, Yurait Publ., 2023. 293 p.

7. Lavrishcheva E.M. *Software engineering and programming technologies for complex systems*. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Yurait Publ., 2019. 432 p.

8. Orlov S.A. *Software engineering*. 5<sup>th</sup> ed. Saint Petersburg, piter Publ., 2021. 640 p.

9. Pyster A., Olwell D., Hutchison N., Enck S., Anthony J., Henry D., Squires A. *Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) version 2.7*. Hoboken, Stevens Institute of Technology, 2022. 1071 p.

10. Knyazhskii A.Yu., Nebylov V.A. *Processes and systems modelling*. Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation Publ., 2020. 91 p.

11. Sovetov B.Ya., Yakovlev S.A. *Modeling of Systems*. 7<sup>th</sup> ed. Moscow, Yurait Publ., 2021. 343 p.

12. Zaliznyak V.E., Zolotov O.A. *Introduction to Mathematical Modeling*. Moscow, Yurait Publ., 2023. 133 p.

13. Kashtaeva S.V. *Mathematical Modeling*. Perm, Prokrost Publ., 2020. 112 p.

14. Akopov A.S. *Simulation Modelling*. Moscow, Yurait Publ., 2023. 389 p.

15. Dreys Yu.G., Zolotarev V.V. *Simulation Modelling*. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Yurait Publ., 2023. 142 p.


16. Boev V.D. *Simulation Modeling of Systems*. Moscow, Yurait Publ., 2023. 253 p.

17. Korolev A.L. *Computer Simulation*. Chelyabinsk State Pedagogical University Publ., 2019. 189 p.


18. Belyakova A.Yu. *Simulation Modeling*. Irkutsk State Agrarian University named after A. A. Yezhevsky Publ., 2020. 120 p.

19. Chernikova O.S., Karmanov V.S. *Computer Simulation*. Novosibirsk State Technical University Publ., 2021. 100 c.
20. Vdovin V.M., Surkova L.E., Valentinov V.A. *Theory of Systems and System Analysis*. 3<sup>rd</sup> ed. Moscow, Dashkov i K Publ., 2016. 644 p.
21. Drogobyskii I.N. *System analysis in economics*. 3<sup>rd</sup> ed. Moscow, YuNI-TI-DANA Publ., 2017. 607 p.
22. Pavlovskii Yu.N., Belotelov N.V., Brodskii Yu.I. *Simulation Modeling*. Moscow, Akademiya Publ., 2008. 236 p.
23. Veremchuk N.S. *Elements of Simulation Modeling*. Omsk, Siberian State Automobile and Road University Publ., 2021. 152 p.
24. Vyunenko L.F., Mikhailov M.V., Pervozvanskaya T.N.; Vyunenko L.F. (ed.). *Simulation Modeling*. Moscow, Yurait Publ., 2023. 283 p.
25. Tikhvinskii V.I., Kholmogorov V.V., Morozov V.A. *Multi agent modeling*. Moscow, MIREA Publ., 2022. 103 p.
26. Garcia R.F. *iOS Architecture Patterns: MVC, MVP, MVVM, VIPER, and VIP in Swift*. Berkeley, Apress, 2023. 397 p.
27. Zaytsev A.F. Method of Search and Logical Inference of Expert Information in a Directed Cyclic Knowledge Multigraph. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and Mathematical Technologies in Science and Management*, 2022, no. 4, pp. 213–222. (In Russian). EDN: NXJJRC. DOI: 10.38028/ESI.2022.28.4.017.
28. Zaytsev A.F., Kravchenko V.A., Shirapov D.Sh. Analysis of Algorithms Efficiency in the Information System of Logical and Mathematical Modeling. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika, informatika = Bulletin of the Buryat State University. Mathematics, Informatics*, 2020, no. 2, pp. 3–14. (In Russian). EDN: SHKQXF. DOI: 10.18101/2304-5728-2020-2-3-14.

### Информация об авторе

**Зайцев Анатолий Федорович** — преподаватель, кафедра вычислительных и радиоэлектронных систем, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ, Российская Федерация, e-mail: lordsadler2010@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-0960-9061>, SPIN-код: 9938-9462, AuthorID РИНЦ: 1037054.

### Information about the Author

**Anatoly F. Zaytsev** — Lecturer, Department of Computational and Radio-electronic Systems, East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russian Federation, e-mail: lordsadler2010@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-0960-9061>, SPIN-Code: 9938-9462, AuthorID RSCI: 1037054.

### Для цитирования

Зайцев А.Ф. Агентно-модульный подход к проектированию и реализации программных систем на основе имитационного моделирования / А.Ф. Зайцев. — DOI 10.17150/2713-1734.2023.5(3).338-349. — EDN UCOJPW // System Analysis & Mathematical Modeling. — 2023. — Т. 5, № 3. — С. 338–349.

### For Citation

Zaytsev A.F. Agent-Module Approach to the Design and Implementation of Software Systems Based on Simulation Modeling. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2023, vol. 5, no. 3, pp. 338–349. (In Russian). EDN: UCOJPW. DOI: 10.17150/2713-1734.2023.5(3).338-349.