УДК 004.94; 658.5

П.А. БУЗОВ, А.Г. ЖИХАРЕВ, С.И. МАТОРИН

P.A. BUZOV, A.G. ZHIKHAREV, S.I. MATORIN

**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА**

**APPLICATION OF SYSTEM-OBJECT IMITATION MODELING IN THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM**

*В данной статье авторы рассматривают оригинальный метод имитационного моделирования, основанный на системно-объектном подходе «Узел-Функция-Объект». Обосновывают его выбор для решения задачи повышения эффективности функционирования системы менеджмента качества. Описывают возможные пути внедрения системно-объектного имитационного моделирования в СМК.*

*Ключевые слова: системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект», имитационное моделирование, система менеджмента качества.*

*In this article, the authors consider the original method of simulation based on the system-object approach "Unit-Function-Object". He substantiates his choice for solving the problem of improving the efficiency of the quality management system. Describe possible ways of introducing system-object simulation in the QMS.*

*Keywords: system-object approach "Unit-Function-Object", simulation modeling, quality management system.*

Успехи имитационного моделирования давно привели к его признанию как перспективного научного направления и широкому использованию его инструментальных средств для решения различных практических задач. К числу таких задач относится задача управления качеством производственной и, в принципе, любой человеческой деятельности [1 - 4].

Однако, естественные в любой развивающейся сфере науки и техники проблемы стимулируют продолжение исследований и разработок, в том числе, и в области имитационного моделирования. В настоящее время не существует общепризнанного определения понятия «имитационное моделирование». Поэтому необходимо для конкретизации предлагаемых в данной статье результатов уточнить авторское понимание сути данного научно-практического направления. Оно в целом соответствует определениям, изложенным в интервью Президента Национального общества имитационного моделирования России, члена-корреспондента РАН, директора СПИИРАН Р.М. Юсупова [5]. При этом наиболее адекватным направлению деятельности авторов является упомянутое в данном интервью, а также в соответствующей статье Википедии (*https://ru.wikipedia.org/wiki/Имитационное\_моделирование*), понимание имитационного моделирования как «метода исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, и с ней проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе». Опора на данное определение свидетельствует о том, что исследования и разработки авторов, очевидно, находятся в рамках дискретно-событийного подхода к имитационному моделированию.

Необходимость замены изучаемой системы моделью, с достаточной точностью описывающей эту систему, естественным образом вынуждает использовать системный подход для создания такой модели. Авторы для моделирования систем применяют оригинальный системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект» (УФО-подход) [6]. Данные подход позволяет описывать любую систему как элемент «Узел-Функция-Объект» (УФО-элемент) целостно и при этом одновременно с трех точек зрения:

* как *структурного элемента* надсистемы в виде перекрестка связей с другими системами — узла;
* как *динамического элемента*, выполняющего определенную роль с точки зрения поддержания надсистемы путем балансирования данного узла — функции;
* как *субстанциального элемента*, реализующего данную функцию в виде некоторого материального образования, обладающего конструктивными, эксплуатационными и т. д. характеристиками — объекта.

Разбиение системы на подсистемы, представляющие собой трехэлементные конструкции «Узел-Функция-Объект» (УФО-элементы), обеспечивает единство функциональной и объектной декомпозиций, так как является наиболее адекватным реальной действительности способом представления структуры, состава и функциональности системы, с учетом ее взаимодействия со средой. При этом УФО-подход позволяет рассматривать любую систему или предметную область как совокупность взаимодействующих УФО-элементов (как УФО-конфигурацию), так как любое явление действительности представляет собой структурную часть еще более целого (взаимодействует с другими явлениями); функционирует определенным образом и при этом является каким-то материальным образованием. В процессе моделирования систем в терминах УФО-подхода модельные УФО-элементы, собранные в различные конфигурации, образуют диаграммы взаимодействия элементов, которые позволяют визуализировать функциональность элементов системы более высоких уровней. Таким образом, моделируемая система представляется в виде иерархии УФО-элементов.

Концептуальные положения УФО-подхода частично формализованы с помощью алгебраического аппарата исчисления объектов Абади-Кардели [7]. В соответствии с правилами данного исчисления система *s* как УФО-элемент может быть представлена в виде специального объекта данной теории (называемого нами *узловым объектом*), состоящего из полей и методов: *s =* [*U*, *f*, *O*], где:

*U* представляет собой поле узлового объекта для описания объектов еще одного специального вида (называемых нами *потоковыми объектами*), соответствующих множеству функциональных связей данной системы; *U = L*? ∪ *L*!, где *L*? представляет собой множество входящих интерфейсных потоковых объектов, соответствующих входящим связям системы *s*, *L*!представляет собой множество исходящих интерфейсных потоковых объектов, соответствующих выходящим связям системы *s*, причем *L*? ⊂ *L* и *L*! ⊂ *L*, т.е. относятся к множеству всех связей *L* (потоковых объектов). При этом *L* = {*l*1, *l*2, ... *li*, … *ln*}, где *n* — количество потоковых объектов (связей системы); *li*= [*r*1, *r*2, … , *rk*], где *li* ∈ *L*; *k* — количество полей потокового объекта *li*; *r*1, *r*2, ..., *rm* — поля потокового объекта, представляющие собой пару «идентификатор-значение»; *li* ***=* [***r****j = bj*]**, где: *r****j = bj*** – поле потокового объекта с некоторыми значениями ***bj***;

*f* представляет собой метод узлового объекта, описывающий функцию системы *s*, т.е. процесс преобразования входящих интерфейсных потоковых объектов (входящих связей системы) *L*? в выходящие *L*!. Далее, в соответствии с принятой в теории объектов манерой обозначений, метод узлового объекта будем представлять в следующем виде: *f*(*L*?)*L*!, где *f* — метод узлового объекта (функция/процесс системы *s*) с областью определения *L*?и областью значений *L*!, соответственно;

*О* представляет собой множество полей узлового объекта для описания объектных (субстанциальных) характеристик системы *s*. Множество полей для описания объектных характеристик системы состоит из трех подмножеств: *O* = *O*? ∪ *O*! ∪ *Of*, где *O*? **—** множество полей, содержащее интерфейсные входные характеристики узлового объекта (системы *s*), *O*! **—** множество полей, содержащее интерфейсные выходные характеристики узлового объекта (системы *s*), *Of* **—** множество полей, содержащее передаточные характеристики узлового объекта (системы *s*).

Таким образом, систему *s* (УФО-элемент) как узловой объект можно представить в виде следующего выражения: *s* = [(*L*?, *L*!); *f*(*L*?)*L*!; (*O*?, *O*!, *Of*)].

Подчеркнем, что данное формальное определение полностью соответствует принятому в УФО-подходе пониманию системы как *функционального объекта*, *функция которого обусловлена функцией объекта более высокого яруса*. Кроме того, упомянутое в определении системы явление обуславливания функции системы функцией надсистемы рассматривается как функциональный запрос надсистемы на систему с определенной функцией (*внешняя детерминанта системы*). Эта детерминанта формально описывается полем *U* узлового объекта, соответствующего данной системе, т.е. множеством потоковых объектов, соответствующих функциональным связям системы (*L*? и *L*!) Внешняя детерминанта системы есть причина ее возникновения, цель ее существования и главный определитель ее структурных, функциональных и субстанциальных свойств. Таким образом, онарассматривается в качестве ***универсального системообразующего фактора***. Функционирование же системы под влиянием внешней детерминанты является ее *внутренней детерминантой*, так как непосредственно определяет ее внутренние свойства (структурные, функциональные и субстанциальные свойства подсистем). Эта детерминанта формально описывается методом *f* узлового объекта, соответствующего данной системе, т.е. в следующем виде: *f*(*L*?)*L*!. Кроме того, функционирование системы в соответствии с внешней детерминантой устанавливает между системой и надсистемой *отношение поддержания функциональной способности более целого*.

Вычисление в исчислении объектов представляет собой последовательность вызовов и переопределения методов, для чего определены правила редукции. В нашем случае формальные преобразования будут выполняться в соответствии с аналогичным исчислению объектов *правилом вызова метода узлового объекта* следующего вида: *s.f u*!*j*{*u*?*i***|→** *s*}, как показано ниже (с учетом введенного нами потокового объекта *li* ***=* [***r****j = bj*]**, где: *r****j = bj*** – поле потокового объекта с некоторыми значениями ***bj***):

***li = [rm = bm]: li= l?i = r?i → sk.rn → r!j{r?i|→ sk} |→ li+1 = [rm+1 = bm+1]: li+1 =***

***l?i+1 = r?i+1 |→ sk+1.rn+1 → r!j+1{r?i+1|→ sk+1} → li+2 = [rm+2 = bm+2]: li+2 =***

***l?i+2 = r?i+2 |→ sk+2.rn+2 → r!j+2{r?i+2 |→ sk+2} → li+3 = [rm+3 = bm+3]:*** *...*

Таким образом, формально, в терминах нашего исчисления, системно-объектная имитационная УФО-модель представляет собою комбинацию узловых объектов и потоковых объектов, взаимодействие которых определяется упомянутым выше правилом вызова метода, т.е. определяется методами узловых объектов, которые описывают как, входные потоковые объекты трансформируются в выходные потоковые объекты.

В настоящее время авторами разработан программный инструментарий системно-объектного моделирования «UFOModeler» (Свидетельство о регистрации ПО № 2015663240, http://http://ufomodeler.ru/), в котором реализована возможность описания методов узловых объектов с помощью языка описания функциональных узлов УФО-скрипт, синтаксически подобного языку программирования Pascal.

Авторы доклада считают представленный кратко метод имитационного моделирования более перспективным по отношению к существующим методам в связи с эго универсальностью, а также глубоким теоретическим системным и формальным обоснованием. Метод и инструмент прошли успешную апробацию, например, при решении следующих практических задач:

* моделирование технологической линии получения модифицированного нанокристалического гидроксилапатита совместно с ЗАО «ООО «Наноапатит», что позволило оптимизировать процесс и выработать рекомендации по увеличению производительности;
* моделирование технологической линии по производству пластиковой тары совместно с ООО «Стандарт Пластик Групп», что позволило выработать предложения по экономии электроэнергии за счет временного отключения гранулятора, не снижающего производительность технологической линии, а также по повышению ее производительности за счет перераспределения мощностей печи и термоформовочной машины.

В связи со сказанным выше авторы в настоящее время проводят исследовательскую и практическую работу по применению системно-объектного метода имитационного моделирования для повышения эффективности функционирования системы менеджмента качества (СМК).

По своей сути СМК ориентирована на процессный подход, при котором качественный результат деятельности обеспечивается не контролем результатов, а правильной организацией процессов. Имитационное моделирование является лучшим способом предварительной организации любой человеческой деятельности, так как она (человеческая деятельность) всегда слабо формализуема и не поддается строгому математическому описанию. Кроме того, системный подход по своей природе также предназначен для решения задач в слабо формализованных предметных областях. Это удачное сочетание имитационного моделирования и системного подхода, имеющее место в пакете UFOModeler и планируется использовать в дальнейшем в рамках СМК.

UFOModeler позволяет построить модель любой деятельности с заданной степенью подробности. При этом средствами скриптового языка могут быть заданы любые параметры на любом уровне иерархии модели. Таким образом может быть построена модель функционирования, например, какого-либо подразделения с учетом структуры его деятельности и субстанции (характеристики оборудования и сотрудников). Данная доступная всем модель, имитирующая реальную деятельность в реальном масштабе времени, может использоваться как ориентир для слаженной и своевременной работы сотрудников, как средство контроля со стороны администрации, как средство наглядного обучения новых сотрудников.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Клебанов Б.И., Аксёнов К.А. Применение имитационного моделирования в системе управления качеством металлургической продукции // Фундаментальные исследования. – 2015. - № 9

2. Исаев Р.А.. Методика построения системы менеджмента качества и ее практическое применение // Аналитический журнал Управление в кредитной организации. - 2009. - №1.

3. Клебанов Б.И., Аксенов К.А., Лобачев Е.В., Юсупов Р.И. Применение методологии сервис-менеджмента информационных технологий для создания системы управления качеством продукции // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3.

4. Лычкина Н.Н. Современные технологии имитационного моделирования и их применение в информационных бизнес-системах // Банковские технологии. - 2000. - № 9.

5. Национальное общество имитационного моделирования России – начало пути. Интервью Р.М. Юсупова, члена-корреспондента РАН, директора СПИИРАН // CAD/CAM/CAE Observer. – 2012. - №2 (70).

6. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Зайцева Н.О. Системно-объектный инструментарий для имитационного моделирования технологических процессов и транспортных потоков. // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2015. - №4.

7. Маторин С.И., Жихарев А.Г. Формализация системно-объектного подхода. // Прикладная информатика. – 2018. - № 3(75). – Выпуск 13.

**Бузов Павел Андреевич**

ЗАО «СофтКоннект», Белгород

Генеральный директор

Тел.: +7(915) 529-3279

E-mail: [Belov@bsu.edu.ru](mailto:Belov@bsu.edu.ru)

**Жихарев Александр Генадиевич**

НИУ «Белгородский государственный университет», Белгород

К.т.н., доцент кафедры информационных и робототехнических систем

Тел.: +7(4722) 30-13-76

E-mail: [zhikharev@bsu.edu.ru](mailto:zhikharev@bsu.edu.ru)

**Маторин Сергей Игоревич**

НИУ «Белгородский государственный университет», Белгород

Д.т.н., профессор, профессор кафедры информационных и робототехнических систем

Тел.: +7(4722) 30-13-76

E-mail: [matorin@bsu.edu.ru](mailto:matorin@bsu.edu.ru)