

---

---

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

---

---

УДК 519.876.5

## ОСОБЕННОСТИ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ОБЪЕКТОВ В ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ БОЛЬШИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

П. Ю. Гусев, Ю. С. Скрипченко, Ю. М. Школьникова

*Воронежский государственный технический университет*

Поступила в редакцию 26.02.2018 г.

**Аннотация.** Разработка имитационной модели представляет собой трудоемкий процесс, который характеризуется множеством взаимосвязанных этапов. В зависимости от корректности принятия решения на каждом этапе зависит результат моделирования в целом. Важным этапом разработки является определение структуры объектов в имитационной модели. В настоящее время в работах ученых слабо отражено состояние данного вопроса. В представленной работе авторами предложена иерархическая структура организации объектов имитационной модели при моделировании больших производственных систем.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, структура, объекты, Plant Simulation, производственные системы.

**Annotation.** The development of the simulation model is a laborious process that is characterized by a multitude of interrelated stages. Depending on the correctness of the decision at each stage, the result of the simulation as a whole depends. An important stage in the development is the definition of the structure of objects in the simulation model. At present, the state of this issue is poorly reflected in the works of scientists. In the presented work, the authors proposed a hierarchical structure of the organization of objects of the simulation model for modeling large production systems.

**Keywords:** simulation modeling, structure, objects, Plant Simulation, production systems.

### ВВЕДЕНИЕ

Возможности современной вычислительной техники позволили расширить применение информационных технологий в любой сфере человеческой деятельности. В настоящее время ни одна из этих сфер не обходится без применения информационных систем для решения информационно-аналитических задач, информационно-справочных задач, задач поддержки принятия решений и т.д. Вычислительные возможности современной техники обеспечили быстроту и точность расчета всех уровней вычисления: от проектирования простых изделий до расчета космических полетов.

Одной из важнейших возможностей современной вычислительной техники является исследование функционирования реальных систем. Такие исследования обеспечивают получение точного результата без вмешательства в функционирование реальной системы. Одним из наиболее точных методов компьютерного исследования реальных систем является имитационное моделирование. При этом зачастую, имитационное моделирование является единственным средством исследования больших систем.

### ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР И ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Современная производственная система предприятия может рассматриваться как большая система, содержащая в себе сово-

---

© Гусев П. Ю., Скрипченко Ю. С.,  
Школьникова Ю. М., 2018

купность подсистем, деятельность которых направлена на достижение общей цели [1]. В работах современных ученых неоднократно исследовалось применение имитационного моделирования для исследования производственных систем [2, 3, 4]. Также проводились исследования наиболее перспективных программных средств имитационного моделирования производственных систем [5, 6]. Результаты исследований в представленных работах позволяют сделать вывод о том, что имитационное моделирование является эффективным инструментом исследования производственных систем.

Не смотря на то, что в литературе встречается достаточно большое количество информации по моделированию больших производственных систем, практически отсутствует информация по способам организации имитационных моделей, что создает проблемы при их разработке. Вместе с тем, отмечается, что наиболее перспективным способом организации объектов имитационных моделей является иерархический способ [7].

Таким образом, основываясь на проведенном анализе проблемы, определена цель работы – повышение эффективности организации объектов имитационных моделей больших систем. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- разработаны положения по иерархической организации объектов имитационной модели;
- определены особенности формирования иерархической структуры объектов применительно к большим производственным системам.

## **ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ОБЪЕКТОВ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

Создание имитационной модели производственной системы может осуществляться двумя способами: с применением универсальных языков программирования и с применением программных комплексов имитационного моделирования. Использование универсального языка программирования приводит к большей гибкости модели. К тому

же способ организации объектов имитационной модели определяется по ходу ее создания. Однако использование универсального языка программирования для создания имитационной модели – трудоемкий процесс, занимающий продолжительное время. В условиях необходимости принятия оперативных решений рациональнее использовать готовые программные комплексы имитационного моделирования.

Множество современных программных средств имитационного моделирования позволяют в кратчайшие сроки создавать и анализировать имитационные модели производственных процессов. Однако не все программные средства имитационного моделирования могут использоваться при исследовании больших производственных систем. Необходимо чтобы программный комплекс отвечал ряду требований:

- возможность моделирования базовых объектов производственной системы;
- возможность моделирования материальных потоков производства;
- возможность создания дополнительных программных модулей.

Для демонстрации положений, предлагаемых в работе, применяется программное средство имитационного моделирования Tecnomatix Plant Simulation. Это программное средство позволяет четко структурировать данные в имитационной модели, что является важной особенностью при моделировании больших производственных систем. Следует отметить, что предлагаемые в работе положения могут использоваться в других программных комплексах имитационного моделирования или при создании модели на универсальном языке программирования.

Неправильная организация структуры имитационной модели влечет за собой дополнительные затраты трудоемкости в следующих случаях:

- изменение исходных данных;
- необходимость расчета дополнительных параметров;
- изменение набора параметров подсистемы;
- и т. д.

Правильно построенная структура позволяет гибко управлять имитационной моделью с минимальными трудозатратами и вносить необходимые изменения в кратчайшие сроки. При этом внесение изменений не будет вызывать необходимость перестройки и переналадки имитационной модели.

В качестве примера иерархической организации объектов имитационной модели, рассмотрена производственная система, представленная участком механической обработки.

Для каждого объекта, который используется в имитационной модели, был создан свой родительский объект. Этот объект позволяет автоматически управлять свойствами дочерних объектов. Такой подход является актуальным при моделировании современной производственной системы. Иерархия объектов позволит внести изменения параметров только в родительский объект, а все остальные объекты перестроятся под эти изменения.

Для моделирования однотипного технологического оборудования необходимо использовать один и тот же объект в имитационной модели. Этот объект должен позволять учитывать все особенности оборудования, применяемого при обработке деталей. Такая система организации объектов позволяет объединить технологическое оборудование в группы наследования. Верхний уровень объектов в рассматриваемой структуре представляет собой объекты, разделенные по видам обработки. Второй уровень – объекты, разделенные по

видам выполняемых операций. Третий уровень – конкретные наименования технологического оборудования. На рис. 1 представлена схема организации объектов, имитирующих технологическое оборудование.

Следует отметить, что реалии отечественного производства требуют внедрения четвертого уровня наследования – оборудования с ЧПУ. Этот уровень требуется вследствие параллельного использования на производстве как оборудования с ЧПУ, так и универсального оборудования.

Особенно важную роль играет организация поступления имитаций деталей и других перемещаемых объектов в имитационную модель. Для каждого типа перемещаемого объекта необходимо обязательно создавать свой тип объекта в имитационной модели. Такая организация объектов позволяет отслеживать состояния порождаемых объектов.

В том случае, если свойства перемещаемого объекта, задаются непосредственно при вводе этого объекта в имитационную модель, а не наследуются, невозможно отследить все однотипные объекты. Как следствие, возникают трудности при моделировании различных производственных сценариев. Также становится невозможным применение имитационной модели в качестве инструмента планирования.

При создании иерархии объектов зачастую упускается из виду создание (таблиц наследования?) наследования таблиц. Создание родительских объектов для таблиц имеет свои особенности. Одной из самых распро-



Рис. 1. Схема организации объектов, имитирующих технологическое оборудование

страненных задач, решаемых с использованием таблиц в Plant Simulation, является задание времени процесса имитации оборудования или внесение технологического процесса в модель. При этом, пользователь сам формирует структуру таблицы и определяет тип переменных, записанных в строки и столбцы.

Наиболее сложным этапом формирования структуры таблицы технологического процесса для имитационной модели в Tecnomatix Plant Simulation является выбор способа поиска операции. При этом операции можно размещать как по столбцам, так и по строкам. Конечный выбор способа размещения операций остается за разработчиком модели и основывается на личных предпочтениях и опыте.

В объектах, реализующих представление таблиц в Tecnomatix Plant Simulation, существует 3 типа наследования:

- наследование формата;
- наследование контекста;
- наследование комментариев.

Необходимость применения наследования таблиц возникла при отладке имитационной модели. При тестировании имитационной модели потребовалось помимо указания операционного времени обработки на оборудовании указывать количество единиц технологического оборудования. Применение наследования объектов-таблиц позволило одновременно добавить новый столбец в родительский объект, а в наследуемых объектах только заполнить соответствующие ячейки.

Еще одна проблема имитационного моделирования производственных систем возникает в момент определения времени имитации обработки. Ввиду сложности материальных потоков больших производственных систем, необходима разработка программных методов выбора времени обработки для каждой детали. Для подключения этого метода к событиям модели достаточно добавить его в родительский объект, имитирующий технологическое оборудование. При этом все наследуемые объекты автоматически примут метод в качестве наследуемого параметра. Однако, необходимо учитывать, что метод должен быть универсальным и

должен иметь возможность применяться к любой имитации детали на любом оборудовании. Как уже отмечалось выше – такую возможность реализует наследование форматирования таблиц.

## ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ БОЛЬШИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Рассмотренные положения по созданию и организации иерархической структуры объектов позволяют эффективно создавать имитационные модели производственных систем. Однако моделирование больших производственных систем имеет особенности, которые следует учесть при организации объектов в имитационной модели.

Формирование структуры объектов имитационной модели большой производственной системы зависит, прежде всего, от цели и задач имитационного моделирования. Перед началом работы по созданию имитационной модели необходимо четко выделить те данные, которые должны быть получены в результате моделирования. Исходная неверная постановка цели исследования ведет к большим трудозатратам при перестроении модели.

Следует отметить, что данное требование по конкретизации цели касается именно больших систем. Связано это, прежде всего с тем, что небольшие производственные системы можно смоделировать полностью за короткое время. При моделировании большой производственной системы ее следует делить на подсистемы. При этом в зависимости от цели, будет различаться количество и назначение подсистем.

В качестве примера по организации иерархической структуры рассмотрена работа по созданию имитационной модели производства деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ) [8]. Рассматриваемая модель имитирует работу цеха по производству деталей из ПКМ. Смоделированная производственная система обладает признаками большой системы:

- наличие подсистем;

– наличие целевого назначения у подсистем, ведущее к выполнению общего целевого назначения системы;

– большое число материальных, информационных, энергетических и пр. связей внутри системы, а также вне системы.

Первоначальной целью исследования выступало повышение эффективности работы участка формования. Проведение декомпозиции системы проводилось с учетом поставленной цели. В результате участки механической обработки и выкладки, не являясь узкими местами согласно техническому заданию, смоделированы с минимальной детализацией. Организация объектов, имитирующих оборудование на данных участках, не проработана. Все виды технологического оборудования на участках моделировал один объект.

Использование имитационной модели позволило устранить узкие места участка формования, а также сократить необходимое количество оборудования. Выполнение первоначально поставленной цели позволило сформулировать новую цель – повышение

эффективности участка механической обработки. Ввиду отсутствия иерархической организации объектов, имитирующих оборудование участка механической обработки, все работы по детализации модели участка проводились вручную, что в значительной степени повысило трудоемкость проводимой работы.

Дальнейшее исследование имитационной модели потребовало повышения детализации участка выкладки. Это привело к созданию дополнительных моделей части подсистем. Это связано с тем, что изначально участок выкладки логически представлял собой одну подсистему, а физически размещался в разных местах.

В результате выполнения работы по созданию имитационной модели цеха по производству деталей из ПКМ, сделаны выводы о необходимости иерархической организации объектов имитационной модели вне зависимости от целей исследования. Такой подход полностью оправдан, т.к. практика выполнения других работ по созданию имитационных моделей больших производственных

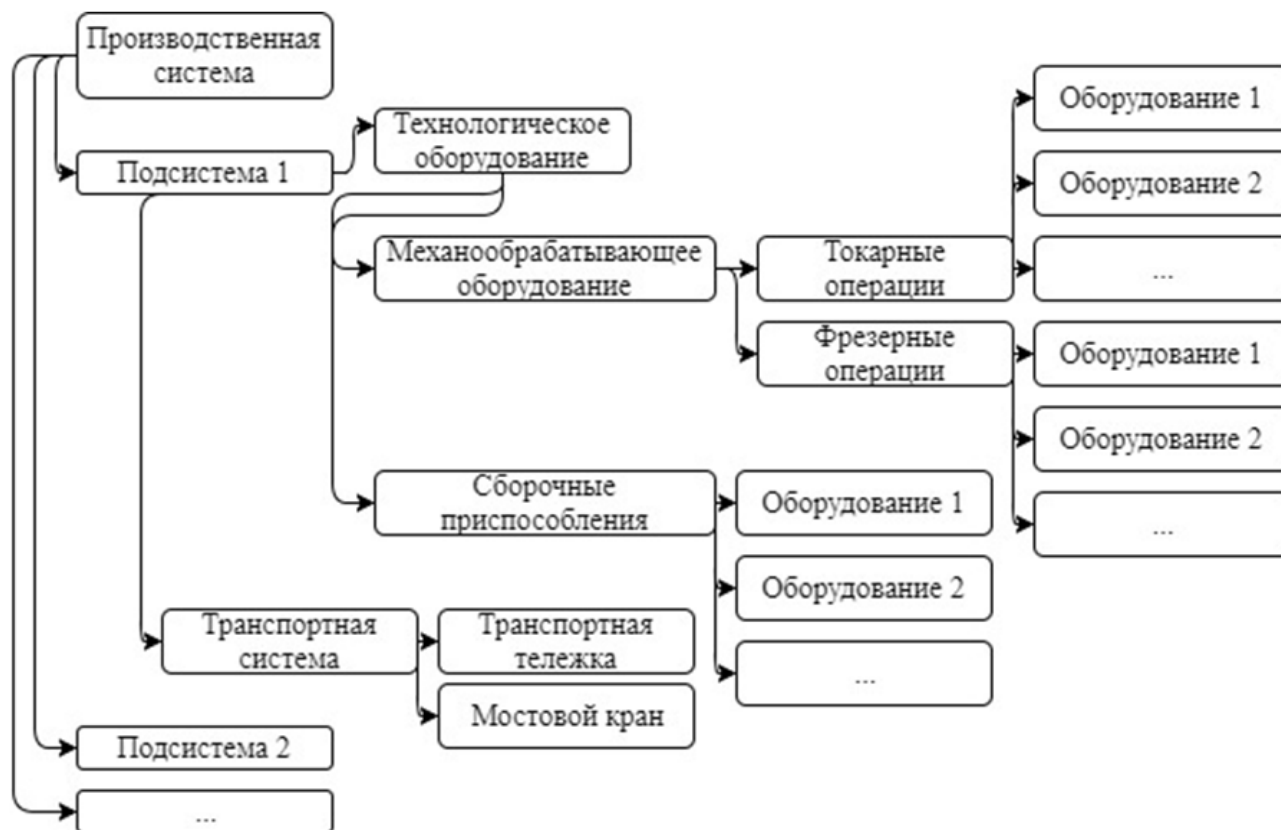


Рис. 2. Схема декомпозиции большой производственной системы

систем показала, что заказчик работ после оценки первых результатов создания модели всегда расширяет цели исследования.

На рис. 2 представлена общая схема декомпозиции исследуемой производственной системы для создания иерархической структуры организации объектов имитационной модели.

## ВЫВОДЫ

В результате работы разработаны положения по организации иерархической структуры организации объектов имитационной модели. Определение ключевых особенностей имитационного моделирования больших систем позволило разработать общую схему декомпозиции исследуемой системы. Применение иерархической структуры организации объектов имитационной модели позволило снизить трудоемкость и повысить уровень детализации модели при исследовании больших производственных систем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федосеев С. А., Гитман М. Б., Столбов В. Ю. Современные механизмы и инструменты управления большими производственными системами // Управление большими системами: сборник трудов. – 2010. – №. 31.
2. Klebanov B. et al. Use of plant simulation for improvement technological and business processes of metallurgical manufacture // Control

**Гусев П. Ю.** – канд. техн. наук, доцент кафедры компьютерных интеллектуальных технологий проектирования, факультет информационных технологий и компьютерной безопасности, Воронежский государственный технический университет.  
E-mail: GusevPvl@gmail.com

Conference (CCC), 2016 35th Chinese. – IEEE, 2016. – С. 9681–9684.

3. Malega P., Kadarova J., Kobulnicky J. Improvement of production efficiency of tapered roller bearing by using plant simulation // International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM). – 2017. – Т. 16. – №. 4.

4. Собенина О. В. Разработка имитационной модели участка механической обработки / О. В. Собенина, А. А. Пак // Современные материалы, техника и технологии. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2016. – №4(7). – С. 164–167.

5. Ивутин А. Н., Сальников В. В. Имитационное моделирование функционирования производственных систем // Технология машиностроения и материаловедение. – 2017. – №. 1. – С. 24–26.

6. Михеева Т. В. Обзор существующих программных средств имитационного моделирования при исследовании механизмов функционирования и управления производственными системами // Известия Алтайского государственного университета. – 2009. – № 1.

7. Губко М. В. Математические модели оптимизации иерархических структур. – М. : УРСС, 2006.

8. Чижев М. И., Скрипченко Ю. С., Гусев П. Ю. Имитационное моделирование производства деталей из полимерных композиционных материалов // Компьютерные исследования и моделирование. – 2014. – Т. 6. – №. 2. – С. 245–252.

**Gusev P. Yu.** – Candidate of Science, Associate Professor of the Department of Computer Intelligent Technologies of Design, Faculty of Information Technologies and Computer Security, Voronezh State Technical University.  
E-mail: GusevPvl@gmail.com

**Скрипченко Ю. С.** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры компьютерных интеллектуальных технологий проектирования, факультет информационных технологий и компьютерной безопасности, Воронежский государственный технический университет.

**Школьникова Ю. М.** – аспирант кафедры компьютерных интеллектуальных технологий проектирования, факультет информационных технологий и компьютерной безопасности, Воронежский государственный технический университет.

**Skripchenko Yu. S.** – Candidate of Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Intellectual Design Technologies, Faculty of Information Technologies and Computer Security, Voronezh State Technical University.

**Shkolnikova Yu. M.** – Post-graduate student of the Department of Computer Intelligent Design Technologies, Faculty of Information Technologies and Computer Security, Voronezh State Technical University.