

## ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ

Гусева Е.Н.<sup>1</sup>, Варфоломеева Т.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Магнитогорский Государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия (455038, Магнитогорск, пр. Ленина, 114), e-mail: kellymy7@rambler.ru

В статье описана классификация типов оптимизационных задач, приведен обзор методов оптимизации. Описаны условия применения методологии имитационного моделирования для решения оптимизационных задач. Приведены основные этапы исследования предметной области, выполнен анализ бизнес-процессов отдела подготовки производства на обувной фабрике. Разработана имитационная модель для экономической задачи. Проведен имитационный эксперимент, анимирующий деятельность сотрудников производственного отдела. Выявлены точки падения производительности в экономической системе. Получен статистический материал, описывающий количественные характеристики бизнес-процессов отдела. На основе анализа результатов имитационного эксперимента предложен вариант оптимизации деятельности отдела подготовки производства. Выполнено исследование прогностической имитационной модели с учетом внедрения рекомендаций по оптимизации бизнес-процессов. Данные экономико-статистического анализа подтвердили экономическую эффективность предложенного варианта оптимизации бизнес-процессов обувной фабрики.

Ключевые слова: имитационная модель, математические методы, моделирование, оптимизация

## THE USE OF SIMULATION MODELS FOR SOLVING ECONOMIC PROBLEMS OF OPTIMIZATION

Guseva E.N.<sup>1</sup>, Varfolomeeva T.N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>«Magnitogorsk State technical University named after G.I. Nosov», Magnitogorsk, Russia, 455038, Magnitogorsk, pr. Lenin, 114), e-mail: kellymy7@rambler.ru

The article describes the classification of types of optimization problems, provides an overview of optimization methods. Describes the conditions of application of the methodology of simulation for solving optimization problems. The main stages of the research subject area, the analysis of business processes of the Department of preparation of production in a Shoe factory. The developed simulation model for economic objectives. Conducted a simulation experiment, the animation activities of the production Department. Identified point of falling productivity in the economic system. The statistical material describing the quantitative characteristics of the business processes of the Department. Based on the analysis of the results of simulation experiment suggested that streamlining the activities of the Department of production preparation. Exploration of predictive simulation models with respect to the implementation of recommendations on optimization of business processes. Data of economic and statistical analysis confirmed the economic efficiency of the proposed options for the optimization of business processes Shoe factory.

Keywords: simulation model, mathematical methods, modeling, optimization

Современные методы математического моделирования имеют серьезную теоретическую базу для исследований самых разных научных проблем. Математики, экономисты, специалисты в области исследования операций разработали множество подходов, способов и алгоритмов, позволяющих найти решения в самых сложных экономических ситуациях. Однако, до сих пор, эти методы и теории не используются в практике решения экономических задач в полной мере. Такое положение связано с несколькими причинами. Во-первых, это случайность и неопределенность развития экономики, во-вторых, постоянное изменение экономических процессов (динамика их параметров), в третьих, присутствие в экономике массовых закономерностей, которые могут проявиться только при большом числе наблюде-

ний. Кроме того, экономические задачи часто описываются множеством факторов, которые сложно выразить с помощью языка математики [2]. Эти причины приводят к сложности или невозможности их решения средствами математического анализа. Преодолеть эти проблемы может весьма перспективное научное направление – имитационное моделирование, поскольку позволяет справиться с вышеперечисленными трудностями и даёт метод поиска оптимального решения для многих сложных задач.

Оптимизация – процесс нахождения экстремума (глобального максимума или минимума) определённой функции или выбора наилучшего (оптимального) варианта из множества возможных. Наиболее надёжным способом нахождения наилучшего варианта является сравнительная оценка всех существующих альтернатив. В каждой экономической задаче задается критерий оптимальности. В качестве критерия оптимальности могут выступать: прибыль, трудовые затраты, выпуск продукции, время выполнения работ и др. Критерий оптимальности – количественный или порядковый показатель, выражающий предельную меру экономического эффекта принимаемого решения для сравнительной оценки возможных альтернатив и выбора наилучшей.

В экономике встречаются следующие типы оптимизационных задач. Производственные задачи: выбор оптимального набора оборудования, создание производственного плана, распределение ресурсов, управление запасами, формирование графика работ, составление рациона и др. Транспортные задачи: создание схемы перевозок, подбор и распределение транспортных средств по различным маршрутам, задача коммивояжера, задача о ранце и др. [1]. Маркетинговые задачи: торговая логистика, подбор оптимального ассортимента и др. Задачи о системах массового обслуживания: оптимизация характеристик СМО, режимов работы СМО, экономических параметров и др. Финансовые задачи: формирование портфеля ценных бумаг, оптимизация структуры капитала, выбор инвестиционного проекта, управление финансовыми потоками и др.

Современные методы поиска оптимального решения образуют три направления: детерминированные; стохастические; комбинированные. Помимо того, оптимизационные методы делятся на следующие группы: аналитические методы (метод множителей Лагранжа, условия Куна-Таккера); численные методы (решение систем линейных и нелинейных уравнений, интегрирование, дифференцирование); графические методы. По целевой функции и допустимому множеству решений задачи оптимизации и методы их решения можно разделить на следующие классы: линейное программирование; нелинейное программирование (выпуклое, целочисленное); вариационное исчисление; динамическое программирование; имитационное моделирование.

На практике встречаются экономические задачи, которые можно решить с помощью математических методов. Применить математические методы оптимизации можно, если задача четко формализована: описаны переменные, определена область их изменения, установлены ограничения и описана целевая функция. Однако задач с нечетко прописанным условием, с множеством переменных, влиянием случайных факторов и закономерностей еще больше. А это значит, что для их решения нужно применять принципиально иные методы, такие, например, как имитационное моделирование. Даже в тех областях, где математический аппарат задачи хорошо известен и проработан, как например, в области теории массового обслуживания, порой требуется изучить поведение системы в нестационарном состоянии [5]. Имитационные модели в этих случаях помогают изучить и спрогнозировать будущее поведение системы при различных условиях: при сбоях оборудования, в случаях аварий и катастроф и т.п.

Продемонстрируем решение экономической задачи, к которой не могут быть применены математические методы. ООО «Магнитогорская обувная фабрика» (ООО «МОФ») является предприятием легкой промышленности. Основное направление ее деятельности – производство и продажа детской обуви. Ежегодно с конвейера предприятия сходит более 600 тыс. пар обуви. Клиентская база фабрики составляет более 220 городов России, обувь торговой марки «ФОМА» известна многим покупателям.

Несмотря на внешне благоприятное положение фабрики на рынке, стоит отметить, что предприятие существует в условиях жесткой конкуренции с фирмами, продающими обувь по низким ценам из некачественного сырья. Существуют проблемы и внутри предприятия. К ним относится длительный производственный цикл, потребность в наращивании объемов производства и прибыли, снижение затрат, уменьшение количества бракованной продукции. Помочь в решении этих проблем могут: своевременное планирование, автоматизации деятельности различных подразделений фабрики, качественная и четкая подготовка производства.

Объектом исследования служит деятельность отдела подготовки производства обувной фабрики. Предметом исследования является автоматизация бизнес-процессов в отделе подготовки производства. Требуется оптимизировать бизнес-процессы отдела подготовки производства на обувной фабрике. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: выполнить анализ бизнес-процессов отдела подготовки производства обувной фабрики; построить имитационную модель работы производственного отдела и провести компьютерный эксперимент; сформулировать рекомендации по оптимизации бизнес-процессов отдела подготовки производства.

Сотрудники отдела подготовки производства занимаются разработкой и внедрением ассортимента, формированием и подготовкой производственной программы, расчётом ее эффективности, контролем за технологией изготовления, расходом материалов, занятостью трудовых ресурсов. Кадровый штат подразделения состоит из начальника отдела, главного технолога, модельера подготовки производства, модельера-конструктора, инженера по расчётам, технолога, диспетчера. В отдел подготовки производства поступает много документов, которые изменяются в зависимости от решений специалистов отдела. На основе полученных данных, сотрудники отдела формируют приказы, отчеты и другие документы для оперативного управления производственным процессом и передают информацию в другие подразделения фабрики. Наиболее плотный поток документов проходит между отделом подготовки производства и такими отделами как: производственный цех, отделы снабжения и сбыта, финансовым отделом и бухгалтерией. Основными бизнес-процессами отдела подготовки производства являются: формирование производственного плана; моделирование обуви и принятие модели обуви; формирование технологии производства; расчет стоимости модели обуви.

Для подробного анализа бизнес-процессов отдела нами были использованы нотация EPC, разработанная А. Шеером, которая позволила исследовать последовательность, логику бизнес-процессов, а также информационные потоки между отделом подготовки производства и другими структурными подразделениями обувной фабрики. Кроме того, мы использовали нотацию IDEF0, позволившую исследовать взаимодействие основных процессов в отделе подготовки производства и «узкие места» в работе отдела (рис. 1). Исследование выделенных бизнес-процессов позволило выявить проблемы в их работе.

«Узкие места» в деятельности отдела подготовки производства:

- ошибки в отчётности, причиной которых является неточности в документах: в паспорте модели, в перечне материалов, потребности в материалах;
- дублирование и противоречивость данных предоставляемых складом, отделом снабжения и расчетами модельеров и технологов;
- хранение документов в бумажном виде (долгое ознакомление и анализ отчётности);
- высокая степень загруженности сотрудников отдела;
- высокая длительность операций по созданию и обработке документов;
- безвозвратное удаление компьютерных данных за прошлые периоды (отсутствие электронного архива документов).

Устранение выявленных проблем возможно тогда, когда будет выяснена причина их возникновения. Поскольку статические модели не дают полной информации о поведении системы, ее динамике и о параметрах бизнес-процессов фабрики (длительности операций, о

количестве задействованных ресурсов, простоях и т.п.) было принято решение разработать имитационную модель деятельности отдела.

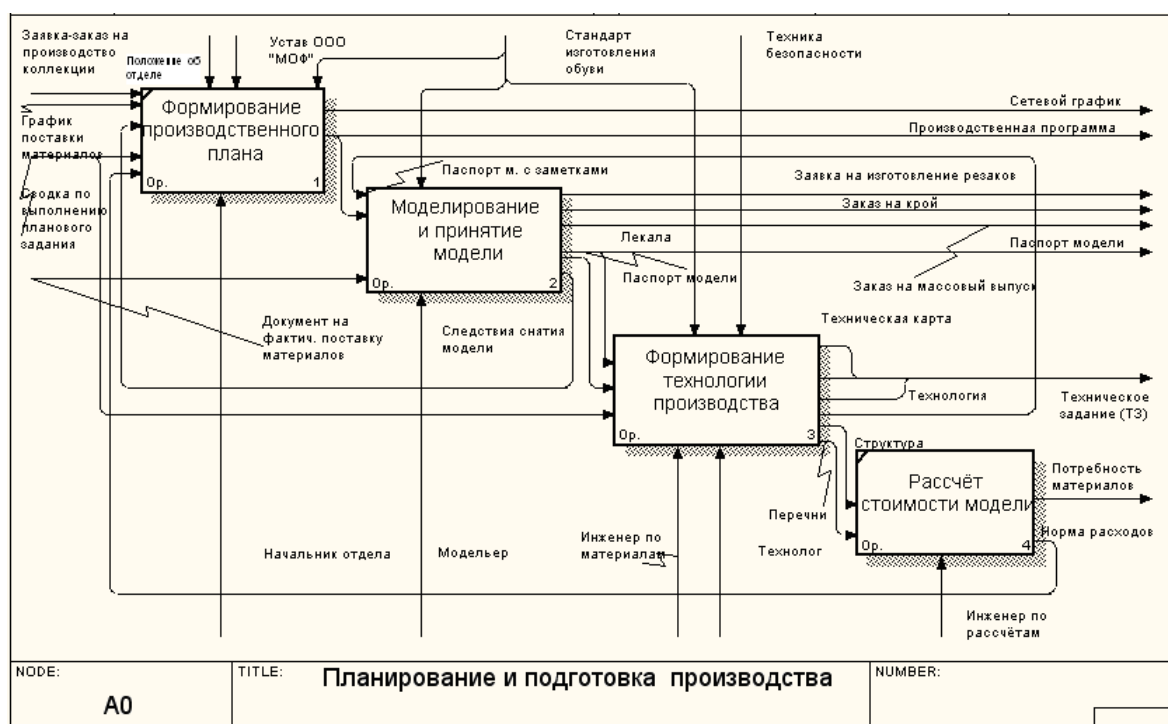


Рисунок 1. Диаграмма декомпозиции процесса «Планирование и подготовка производства»

В качестве платформы разработки была выбрана Arena 13.0. Выбор обоснован: богатыми функциональными возможностями по исследованию и представлению бизнес-процессов; возможностью исследовать динамику изменений системы во времени; выводом статистических данных по результатам имитации, которые описывают все параметры изучаемой системы [3]. Сначала была разработана имитационная модель отдела подготовки производства AS-IS, описывающая логику процессов в том виде, в котором они фактически происходят на фабрике (рис. 2).

В модели присутствует девять бизнес-процессов, четыре из них выполняются непосредственно в отделе планирования производства, а остальные: снабжение, изготовление мини-партии, производство обуви в экспериментальном цехе, приказ о выпуске, корректировка происходят в других отделах. Иницирует работу модели приход заявки (Request) на производство из отдела сбыта (Sales). Затем заявка поступает в отдел подготовки производства и запускает в работу множество сопутствующих бизнес-процессов предприятия. Далее информационные, материальные и финансовые потоки обеспечивают согласованную деятельность всех подразделений и запускают производство обуви.

Комплекс изучаемых бизнес-процессов описывается множеством характеристик. К ним относятся: время выполнения различных операций, производительность, рентабельность, объем производства, технологические коэффициенты и др.

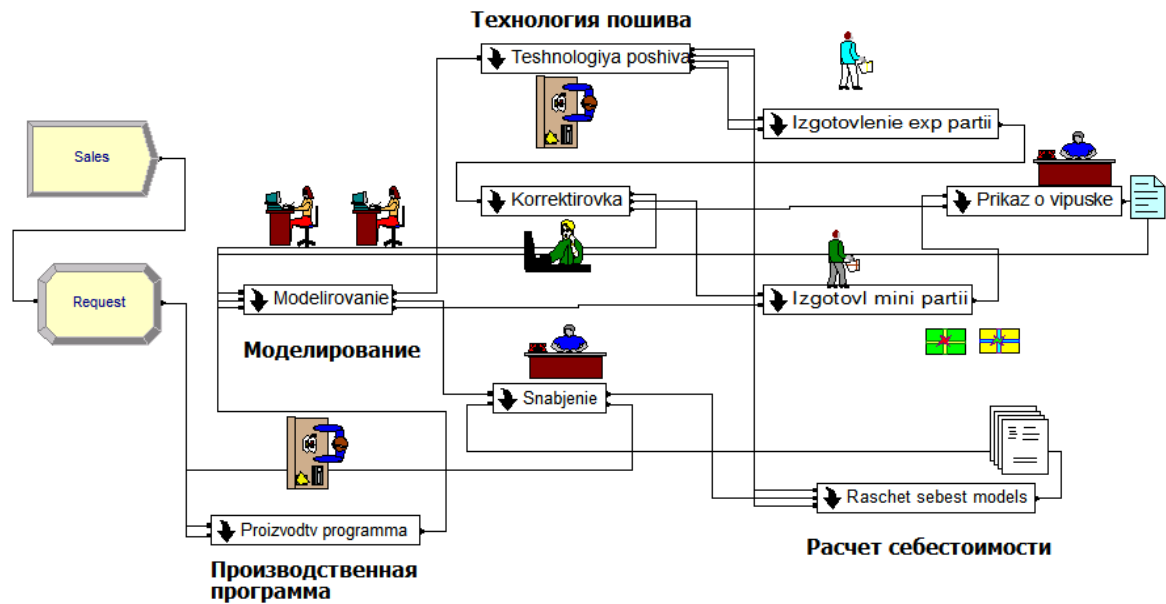


Рисунок 2. Имитационная модель работы отдела подготовки производства

Ограничимся рядом характеристик, которые являются наиболее значимыми для работы отдела подготовки производства. По сути, мы имеем многоцелевую задачу оптимизации, в которой  $f_i$  - множество целевых функций оптимизации процесса подготовки производства.

$$f_i(x) \rightarrow \min(\max), \quad i = 1, \dots, m$$

$$x \in X$$

Параметрами оптимизации являются:  $t_{об} \rightarrow \min$  {время обработки документов},  $t_{п} \rightarrow \min$  {время передачи документов},  $T \rightarrow \min$  {длительность производственного цикла},  $Bг \rightarrow \min$  {количество бракованных изделий},  $P \rightarrow \max$  {прибыль предприятия},  $K_{nz} \rightarrow \min$  {число невыполненных заказов}.

Поскольку многокритериальные задачи являются трудноразрешимыми, для поиска оптимального варианта решения использовались результаты имитационного эксперимента. Приведем в таблице средние значения параметров деятельности фабрики. Например, время обработки различных документов в системе колеблется от 30 минут до 36 часов. Самым быстрым является создание распоряжения на массовое производство модели, которое занимает 0,5 часа, а самым длительным является обработка паспорта модели, занимающая около 36 часов. Время передачи документов из отдела в отдел варьируется в промежутке от 15 до 30 минут. Условия проведения имитационного эксперимента с моделью AS-IS были установлены в соответствии с реальными условиями существования бизнес-процессов на предприятии. Числовые характеристики: длительность операций, количество и стоимость ресурсов, задействованных в модели, также были идентичны фактическим. Кроме того, были учтены случайные факторы и законы, влияющие на бизнес-процессы фабрики. Так, например, количество заявок, поступающих на фабрику ежемесячно, было описано логнормаль-

ным законом распределения. Для всех процессов эмпирически были определены статистические законы изменения случайных величин. Это позволило симитировать деятельность предприятия и выявить проблемы в его работе. Достоверность модели была подтверждена и результатами имитационного эксперимента, которые совпадали с реальными параметрами работы фабрики (таблица).

**Основные параметры, описывающие работу отдела подготовки  
производства и фабрики в целом**

Параметр оптимизации	Фактически			Рекомендовано		
	min	avg	max	min	avg	max
t <sub>об</sub> (в часах)	1	18,5	36	1	6,5	12
t <sub>п</sub> (в мин.)	15	25	35	0,5	2,75	5
T (в днях)	30	32	34	20	22,5	25
B <sub>r</sub> (в %)	5,9	9,8	13,7	0,9	1,6	2,3
K <sub>пз</sub> (в шт.)	18	25	32	0	2	4
P (в тыс. руб.)	1900	2400	2900	2100	2750	3400
Объём произв. (шт. в мес.)	42000	50000	58000	52500	57750	63000

Далее было выполнено исследование причин «падения производства». Выяснилось, что целый ряд проблем, таких как высокая загруженность сотрудников, большая длительность операций по созданию и обработке документов, ошибки в отчётности были связаны с отсутствием специализированных программ, автоматизирующих деятельность предприятия. Так, например, отчетность предприятия формировалась в Microsoft Excel, а проектирование моделей обуви выполнялось вручную. Было решено автоматизировать документооборот фабрики с помощью программы «1С: Управление производственным предприятием 8», а также повысить производительность работы модельера по проектированию новых моделей обуви с помощью специализированной системы САПР «Ассоль-Обувь».

Для проверки эффективности мероприятий по автоматизации входные данные имитационной модели производственного отдела были изменены в соответствии с предполагаемым сокращением временных затрат на выполнение бизнес-процессов отдела подготовки производства. Затем был проведен компьютерный эксперимент с новыми параметрами. Результаты имитации деятельности отдела показали существенное улучшение параметров оптимизации: времени обработки и передачи, количества обработанных документов и др., а также возможный рост объемов производства и прибыли предприятия. Некоторые из этих характеристик приведены в таблице в столбце «Рекомендовано».

**Выводы**

Результаты имитационного моделирования показали, что система подготовки производства на обувной фабрике имеет множество проблем: длительная обработка и передача документов между отделами фабрики, ошибки в отчетности, отсутствие общей информационной базы предприятия, содержащей сведения о состоянии склада, заявках, сводках, поставках. Проблемы можно решить путем внедрения программ «1С: Управление производственным предприятием 8» и САПР «Ассоль-Обувь». Внедрение автоматизированной информационной системы «1С: Управление производственным предприятием 8» повысит ответственность сотрудников, обеспечит оперативный документооборот, а руководство сможет контролировать все этапы выполнения производственной программы своевременно. Система «Ассоль-Обувь» поможет автоматизировать процесс разработки моделей обуви, создания новых лекал и карт запуска. Использование САПР «Ассоль-Обувь» в три раза сократит трудозатраты модельера. Эти меры позволят существенно уменьшить время создания, обработки и передачи документов, управляющих производственными процессами. Временные характеристики косвенно повлияют на длительность производственного цикла, который сократится на 29,7%, что позволит увеличить объем производства в среднем на 15,5%, избежать ошибок в технологических картах, паспортах моделей. Все это повлияет на снижение брака на 8,2% и даст возможность снизить затраты предприятия на 18%, а значит и получать большую прибыль в будущем.

Методику имитационного моделирования, проведение компьютерных экспериментов можно использовать для оптимизации многих задачи из области экономики, существенно улучшая бизнес-процессы предприятий. А прогностические возможности имитационных моделей могут служить незаменимым инструментом в процессе принятия обоснованных управленческих решений.

### Список литературы

1. Грицюк С. Н. Математические методы и модели в экономике: учебник / С. Н. Грицюк, Е. В. Мирзоева, В. В. Лысенко. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 348 с.
2. Гусева Е.Н. Моделирование макроэкономических процессов [Электронный ресурс]: учеб. пособие. – М.: Флинта, 2014. – 214 с. – Режим доступа: <http://www.ozon.ru/context/detail/id/28975354> (дата обращения: 15.09.14).
3. Гусева Е.Н. Имитационное моделирование экономических процессов в среде «Arena» [Электронный ресурс] : учеб. пособие. – М.: Флинта, 2011. – 132 с. – Режим доступа: <http://www.knigafund.ru/books/114189> (дата обращения: 15.09.14).



4. Орлова И.В. Экономико-математические методы и модели: компьютерное моделирование: учеб. пособие/ И.В. Орлова, В.А. Половников. – М.: Вузовский учебник, 2007. – 365 с.
5. Советов Б. Я. Моделирование систем : учеб. пособие / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2009. – 344 с.

**Рецензенты:**

Кузнецов В.А., д.ф.-м.н., профессор, декан физико-математического факультета Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск;  
Кадченко С.И., д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой прикладной математики и информатики физико-математического факультета Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск.