

УДК 658.1.011.5

В. А. Кутергин, доктор технических наук, профессор
 Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск
 Р. В. Сухих, аспирант
 Ю. В. Турыгин, доктор технических наук, профессор
 ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Руководители предприятий каждый день сталкиваются с проблемами и вынуждены принимать решения по их устранению в условиях неопределенности. В статье описывается метод автоматизации принятия решений в управлении производственным предприятием на основе имитационного моделирования. Рассматривается принцип построения имитационной модели предприятия и ее структура, методика анализа и оценки эффективности предприятия.

Ключевые слова: автоматизация, управление, принятие решений, имитационное моделирование, теория ограничений, теория систем.

Введение

Сегодня рынок быстро меняется, продуктовые линейки совершенствуются все быстрее. Производственные предприятия должны становиться гибкими и быстро адаптироваться под изменяющиеся условия рынка для того, чтобы остаться конкурентоспособными. Это может быть достигнуто лишь при постоянном совершенствовании. Процесс развития предприятия сопровождается последовательностью принятия решений руководителями, однако оценить полезность каждого из них часто является сложной аналитической задачей.

Для достижения возможности автоматизации принятия решений в управлении предприятием должны быть решены такие задачи:

- автоматизировать сбор данных о предприятии;
- построить имитационную модель предприятия;
- определить ограничивающий ресурс;
- оценить альтернативы принятия управленческих решений.

На практике существующая проблема может быть решена различными способами. Но как руководителю определить, какая альтернатива лучше? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно иметь возможность сравнивать между собой несколько возможных вариантов и выбирать тот, который кажется ему наиболее предпочтительным [1].

Критерии принятия решений

Для большинства современных производственных предприятий конечной целью является получение прибыли. Исходя из этого, эффективность предприятия определяется тем, насколько много оно приносит прибыли в настоящем и будущем. Изменение прибыли во времени может быть проанализировано с помощью его потоковой модели. Поток финансов $T(t)$ появляется в результате продаж производимой продукции $P(t)$, за исключением всех затрат, приходящихся на единицу продукции $TVC(t)$ (1).

Чтобы обеспечить продажи, в первую очередь, нужно произвести продукцию, т. е. преобразовать ресурсы в изделие. Это преобразование осуществляется в результате производственного процесса, который подразумевает затраты на материалы и другие

сопутствующие расходы $TVC(t)$ и затраты на функционирование самой системы $OE(t)$ (2). Такой подход использует теория ограничений (Theory of Constraints, TOC) Э. Голдратта [2–4]. Состояние производственной системы можно охарактеризовать тремя показателями (рис. 1):

- проход (T) – скорость, с которой система генерирует финансовый поток в результате продаж;
- инвестиции (I) – все финансовые ресурсы, затраченные системой на приобретение того, что позволяет генерировать проход (например, складские запасы, незавершенное производство и пр.);
- операционные затраты (OE) – финансовые ресурсы, затрачиваемые системой на свое существование (например, зарплата всех сотрудников организации, за исключением сдельной оплаты труда, затраты на аренду, энергоресурсы и т. д.) [5].

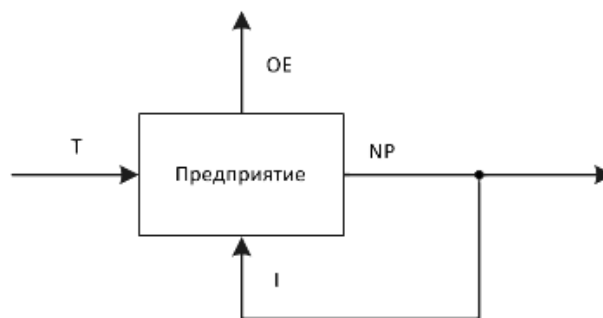


Рис. 1. Потоковая модель предприятия

ТОС утверждает, что этих трех показателей достаточно для того, чтобы связать результаты ежедневных действий руководителей с показателями чистой прибыли (NP) и рентабельности инвестированного капитала (ROI):

$$T(t) = P(t) - TVC(t); \quad (1)$$

$$NP(t) = T(t) - OE(t) = P(t) - TVC(t) - OE(t); \quad (2)$$

$$ROI(t) = \frac{T(t) - OE(t)}{I(t)}. \quad (3)$$

Таким образом, с точки зрения цели, состояние предприятия в любой момент времени можно однозначно охарактеризовать вектором (T, I, OE) , с помощью которого мы можем оценить влияние любого решения на итоговые результаты деятельности компании. Наилучшей будет та альтернатива, которая увеличивает T и снижает при этом I и OE (4). Тем не менее любое решение, положительно влияющее на NP и ROI , приближает компанию к ее цели [6].

В свою очередь, потоковые показатели $T(t)$, $I(t)$, $OE(t)$ напрямую зависят от системных характеристик производственных процессов, таких как производительность, цикл производства, объем незавершенного производства, методов планирования и т. д. [7]. Для того чтобы определять эти характеристики, необходимо уметь построить и моделировать операционные процессы преобразования материалов, комплектующих в готовые изделия при помощи заданных технологий.

Производственные предприятия представляют собой систему взаимосвязанных элементов, имеющую определенную цель. То, насколько хорошо эта система достигает своей цели, определяет ее эффективность. Логично, что лучшей является та альтернатива, которая быстрее приближает предприятие к цели. Однако чтобы оценивать систему с точки зрения выбранного руководителем критерия, необходимо владеть достаточно подробной информацией о процессах, происходящих в ней. Имитационная модель предприятия является инструментом анализа состояния предприятия как системы в различных условиях и для разных задач. Результаты такого анализа могут быть использованы руководителем при выборе наилучшего решения из альтернатив в управлении или развитии предприятия.

Модель предприятия

Структура моделируемой системы в первую очередь зависит от целей моделирования. При исследовании предприятия в рамках ТОС чаще всего задаются следующими вопросами [8–10]:

- Что является ограничением?
- Какой цикл выпуска продукции?
- Какой производственный процесс наиболее длителен?
- Насколько эффективно используются ресурсы предприятия?
- Какая прибыль генерируется предприятием за единицу времени?
- Как изменится прибыль, если в системе изменить что-либо из элементов, связей или структуры?
- Каков период окупаемости того или иного изменения?
- Какой доход можно получить от какого-либо изменения на единицу затрат?
- Как наиболее эффективно управлять работой предприятия?

Чтобы ответить на эти и другие вопросы, руководителю необходимо четко представлять процессы, происходящие на предприятии на сегодняшний день, причем уровень знания производственной системы должен быть достаточно глубок.

Любую производственную систему можно представить в виде иерархической сети, где на верхнем уровне мы рассматриваем производственную систему как единое целое, функционирующее во внешней среде. Опускаясь на уровень ниже, мы детализируем производственную систему, т. е. раскладываем на составляющие и определяем, как эти подсистемы взаимодействуют друг с другом.

На каждом уровне описания производства будут различаться не только характеристики производственного процесса, но и сам технологический процесс, представленный в виде сети из операций. Характеристики операций, выполняемых на рабочем центре (РЦ), оперирует следующими параметрами:

- операция;
- рабочий центр (оборудование);
- время переналадки;
- операционное время.

Тогда как моделирование на уровне множества операций, выполняемых на нескольких рабочих центрах, оперирует параметрами:

- подразделение (цех, участок, завод);
- технологический передел (ДСЕ, изделие, заказ);
- цикл производства;
- производительность.

На рис. 2 представлен пример агрегации параметров производственного процесса. Здесь используются следующие обозначения: «пн» означает время переналадки; «о» – операционное время; «ц» – цикл производства; «п» – производительность. Некоторое изделие изготавливается в цехе 1. Чтобы его произвести, необходимо проделать некоторые операции на участке 2, а затем некоторые операции на участке 1. На участке 1 при этом используются два рабочих центра, операции на которых выполняются последовательно.

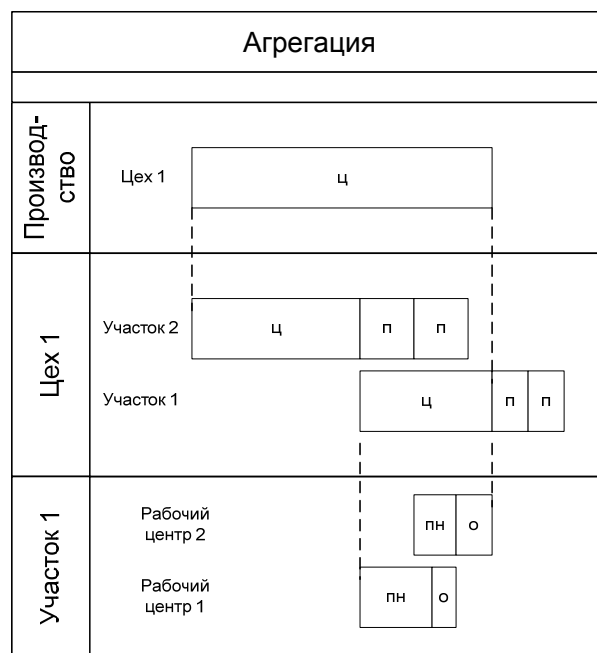


Рис. 2. Пример агрегации параметров производственного процесса

Основным элементом производственной системы является рабочий центр, структура которого приведена на рис. 3. Под рабочим центром понимается производственная единица, способная выполнять одну производственную операцию. Рабочим центром

может быть оборудование, инструмент или просто рабочее место. Признаки рабочего центра:

- без рабочего центра невозможно проведение производственной операции;
- во время проведения одной операции невозможно проведение каких-либо других операций.

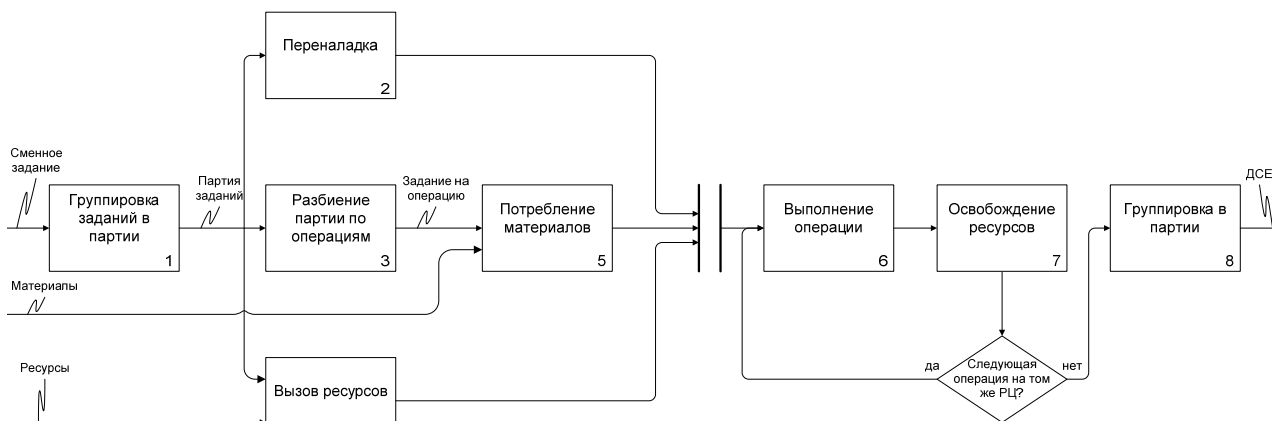


Рис. 3. Структура организации процессов на рабочем центре

Рабочий центр представляет собой сетевую структуру процессов, как показано на рис. 3:

1. Задания группируются тогда, когда они требуют:

- одинаковую наладку оборудования;
- один набор ресурсов.

2. Переналадкой называется время, необходимое на подготовку к проведению нескольких однотипных операций. Подготовительное время, необходимое для каждой операции, выносится либо отдельной операцией, либо включается в операционное время. В переналадку включается:

- настройка оборудования;
- смена инструмента;
- изучение документации и др.

3. Разбиение на одиночные операции определенной продолжительности.

4. Используются определенные правила вызова ресурсов, учитывающие:

- приоритет операций (должен ресурс прервать менее приоритетную задачу или завершить ее);
- количество ресурсов;
- время на то, чтобы ресурс стал доступен (перемещение рабочего, ожидание транспорта и др.);
- время доступности ресурса (например, рабочая смена) и др.

5. Материалы потребляются со склада РЦ, если они есть в наличии. Склад РЦ пополняется в соответствии с правилами пополнения складов. Эти правила определяют:

- когда пополняется остаток ДСЕ;
- на сколько единиц пополняется остаток.

6. Проведение операции возможно лишь тогда, когда рабочий центр обеспечен всеми необходимыми ресурсами, завершилась переналадка, если она требуется и доступны необходимые материалы. При

выполнении этих условий операция моделируется как задержка на время выполнения операции.

7. Если следующая операция в маршруте выполняется на этом же рабочем центре, то можно провести ее сразу. Тут используется соответствующее правило. Отказ от проведения операции может быть обусловлен необходимостью переналадки оборудования. При длительном подготовительно-заключительном времени будет целесообразно провести операцию тут же, например, если на установку детали в станок требуется значительное время. После проведения операции занятые ресурсы могут быть освобождены, если они не потребуются для следующей операции.

8. Для передачи полуфабрикатов и изделий дальше по технологическому маршруту они могут группироваться в передаточные партии (поддоны, паллеты).

Реализация модели производственного процесса

Рассмотрим производственный процесс на примере предприятия ООО «Модуль», которое занимается производством трансформаторных подстанций. Предприятие выпускает блочные комплектные подстанции, состоящие из армированных железобетонных блоков, оснащенных электрооборудованием и металлоконструкциями типа дверей, решеток, металлических шкафов. Для автоматизированного построения моделей и моделирования производственно-экономических процессов предприятия используется среда AnyLogic [11]. Морфологическая модель производственного процесса, показанная в нотации AnyLogic на рис. 4, включает в себя такие подсистемы, как:

- 1) три производственных участка;
- 2) склад;
- 3) транспортная подсистема.

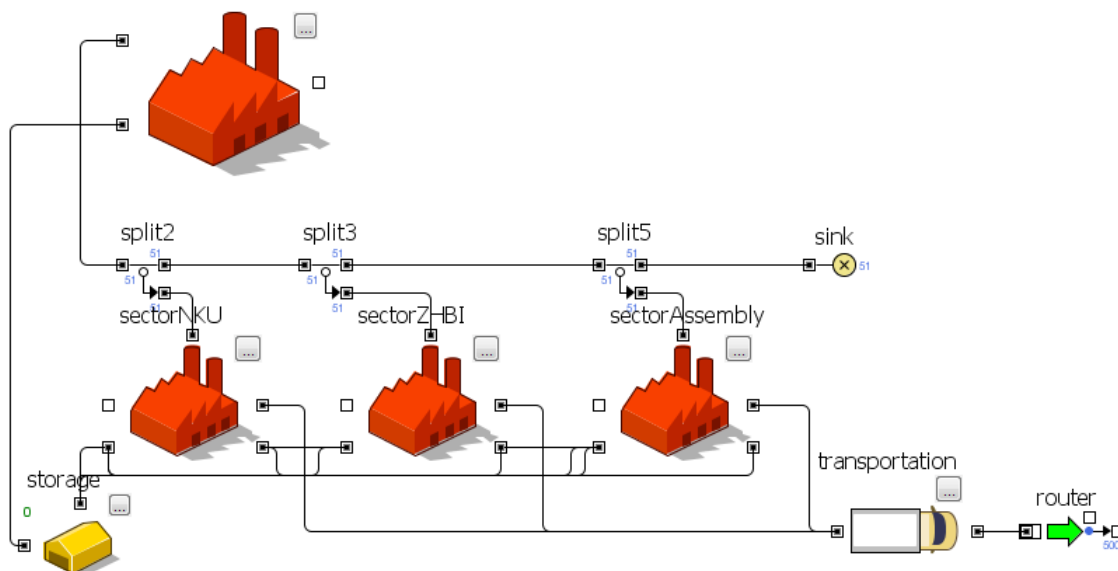


Рис. 4. Структура морфологической модели производства

На основе общего плана производства изделий предприятия в целом формируются планы производства для каждого участка, т. е. последовательности операций, которые необходимо выполнить на рабочих центрах. План производства поступает на следующие три участка:

- участок НКУ;
- участок ЖБИ;
- участок сборки.

Выполнение операций подразумевает наличие необходимых материалов, комплектующих и ДСЕ, которые формируются на складе.

Отдел снабжения при помощи службы комплектации формирует необходимые комплекты товарно-материальных ценностей (ТМЦ) на складе у каждого рабочего места. Каждый рабочий центр соединен со

складом таким образом, что может «запросить» ТМЦ со склада.

Операционная модель производственного участка

Производственный участок состоит из следующих элементов:

- подсистема планирования;
- операционные технологии с привязкой к рабочим центрам;
- набором необходимых дополнительных ресурсов (рабочих, инструментов и т. п.).

Схема имитационной модели производственного участка представлена на рис. 5. План производства для участка передается в подсистему планирования. Здесь определяются заказы на производство ДСЕ, начинающие производиться на этом участке. После этого заказы отправляются на соответствующие рабочие центры.

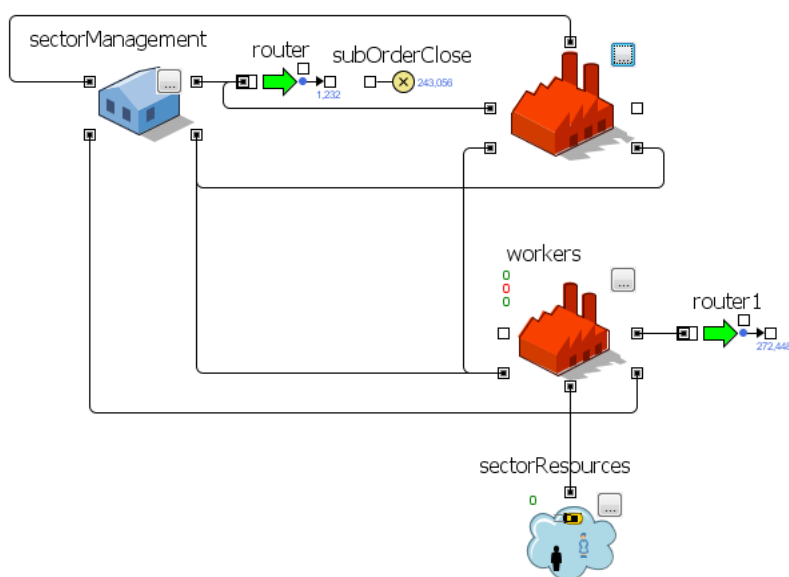


Рис. 5. Структура операционной модели производственного участка

Рабочих центров на производственном участке может находиться сколько угодно, и все они имеют унифицированное описание. Параметры рабочих центров, такие как название, выполняемые операции, режим работы и др., задаются входными данными. В качестве входных данных выступают технологический процесс изготовления изделия и спецификации.

Операционная модель производства ДСЕ на рабочем центре

Операционная модель производства ДСЕ на рабочем центре на языке AnyLogic представлена на

рис. 6. На вход рабочего центра поступает сменное задание, которое включает в себя перечень операций, которые необходимо провести. Когда освобождается рабочий центр, первый заказ из очереди занимает необходимые ресурсы либо ожидает их освобождения, если они заняты. Когда все ресурсы доступны, начинается выполнение операции, по завершении которой ресурсы освобождаются. Результирующий полуфабрикат отправляется на склад или на следующий рабочий центр по технологическому маршруту.

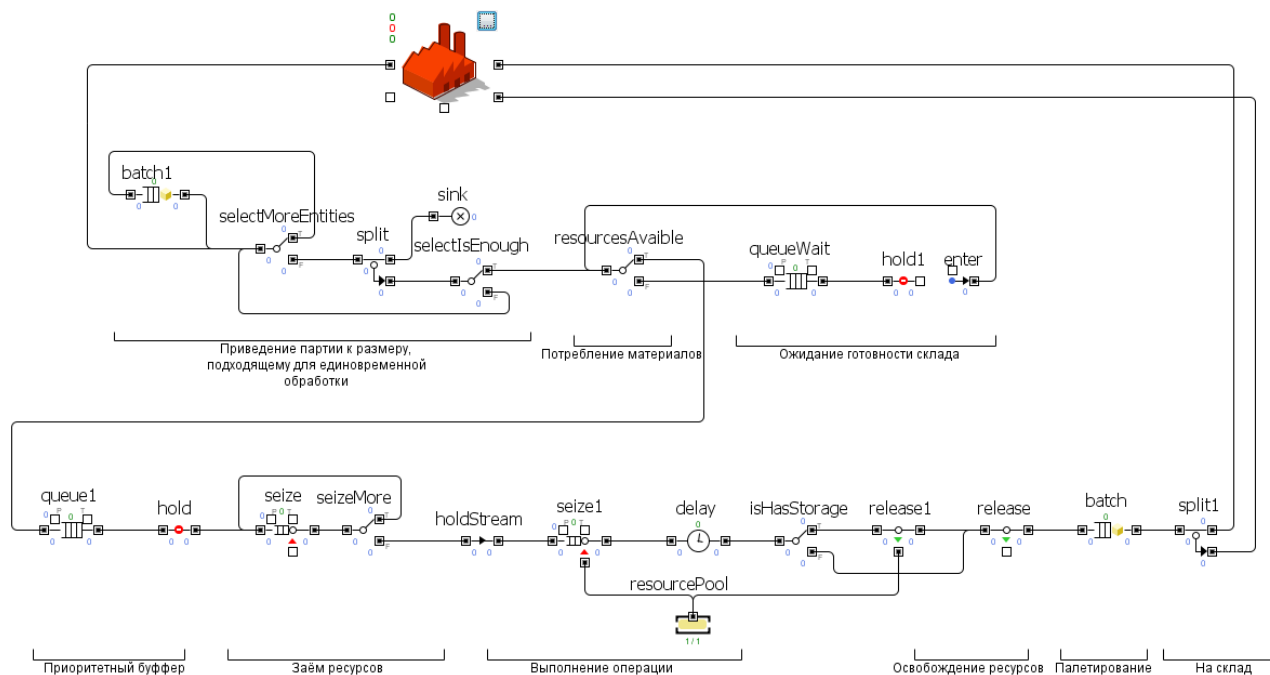


Рис. 6. Операционная модель производства ДСЕ на рабочем центре

Исследование операционно-экономической модели предприятия

В процессе итерационного уточнения входных данных была построена имитационная модель предприятия с достаточной адекватностью. После чего был выполнен «прогон» модели на протяжении 12 модельных месяцев. Ниже описаны полученные результаты.

Поиск ограничений

Ограничением является наименее производительный производственный процесс, и именно этот процесс определяет производственные возможности всего предприятия. В процессе моделирования производства можно определять, какую долю всего времени рабочий центр работал, т. е. выполнял производственные операции, а какую часть простаивал, т. е. находился в режиме ожидания. Чем больше загружен производственный ресурс, тем ниже его производительность в разрезе плана производства. Следовательно, наиболее загруженный ресурс является ограничением. Определение ограничений дает представление о том, какие рабочие центры необходимо модернизировать для повышения производственных возможностей предприятия.

Например, ограничивающими ресурсами предприятия с загрузкой более 90 % являются:

- 1) мостовой кран 20/5 т – 99 %;
- 2) формы для заливки ЖБИ – 92–96 %.

Существующие ограничения позволили определить предельную производительность предприятия 15 изделий в месяц.

Принятые на предприятии правила организации производства, которые введены в модель предприятия, приводили к 120-дневному циклу выполнения поступающих заказов.

Расчет экономических показателей

Что и когда производить, определяется правилами планирования операций. Планирование операций – одна из ключевых задач организации производственной подсистемы. Планирование заключается в распределении заданий и расписаний работы рабочим центрам. Основываясь на экономических показателях предприятия и на информации о производительности, производственном цикле можно определить «проход» продукции по ТОС, прибыльность производства и определить многие другие финансовые и производственные характеристики предприятия. Ниже представлены результаты моделирования двух вариантов организации производства (рис. 7).

Результаты за год	Эксперимент 1	Эксперимент 2	Разница
Время моделирования, мес:	12	12	
Объем реализации, шт.:	174	236	+35,63%
Цена реализации ед.:	5,000,000	5,000,000	0,00%
Выручка:	870,000,000	1,180,000,000	+35,63%
Переменные затраты на ед.:	3,500,000	3,500,000	0,00%
ППЗ на объем реализации:	609,000,000	826,000,000	+35,63%
Валова маржа:	261,000,000	354,000,000	+35,63%
Операционные затраты:	180,000,000	180,000,000	0,00%
Себестоимость:	789,000,000	1,006,000,000	+27,50%
Себестоимость ед.:	4,534,482.759	4,262,711.864	-5,99%
Прибыль:	81,000,000	174,000,000	+114,81%
Рентабельность, %:	9,31%	14,75%	+58,38%
Коэффициент валовой маржи:	0.3	0.3	0,00%
Порог рентабельности:	600,000,000	600,000,000	0,00%
Порог рентабельности, ед:	120	120	0,00%
Рц:	10.741	6.782	-36,86%
Рн:	3.222	2.034	-36,86%

Рис. 7. Сравнение экономических показателей производства

Вариант 1 предусматривал планирование производства в соответствии с потоком заказов. Вариант 2 предусматривал планирование производства по максимальной загрузке ограничения.

Вариант 2 позволял увеличить производственную мощность предприятия до 20 заказов в месяц. Согласно анализу экономических показателей, прибыль повысилась на 114 %, себестоимость понизилась на 6 %, рентабельность повысилась на 5 %.

Заключение

Построенная имитационная модель предприятия адекватно отражает поведение производственной системы. Она позволяет как моделировать производственный процесс в состоянии «как есть», так и моделировать изменение состояния организационной, операционной и экономической проекции предприятия как целостной системы. Благодаря этому можно сравнивать различные альтернативы развития предприятия и обоснованно принимать решения. Имеющийся функционал и используемые элементы теории ограничений позволяют использовать имитационную модель как инструмент для лица, принимающего решения.

V. A. Kutergin, DSc in Engineering, Professor, Institute of Applied Mechanics UB RAS, Izhevsk

R. V. Sukhikh, Post-graduate, Kalashnikov ISTU

Yu. V. Turygin, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

Computer aided decision-making at manufacturing enterprise management

Enterprise managers are confronted daily with the problems and have to make decisions under uncertainty. This paper describes a simulation-based method for automating the decision-making in the management of a manufacturing enterprise. The principle of building a simulation model of the company and its structure, methods of analysis and evaluation of the effectiveness of the enterprise are considered.

Keywords: automation, management, decision making, simulation, theory of constraints, systems theory.

Получено: 26.12.14

Библиографические ссылки

1. Снетков Н. Н. Имитационное моделирование экономических процессов : учеб.-практ. пособие. – М. : Изд. центр ЕАОИ. – ISBN 978-5-374-00079-5, 2008. – 228 с.
2. Голдратт Э., Кокс Дж. Цель. Процесс непрерывного совершенствования. – М. : Попурри, 2009.
3. Голдратт Э. Цель-2. Дело не в везении. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2011.
4. Корбетт Т. Управленческий учет по ТОС / пер. с англ. Д. Капанов. – Киев : Необходимо и достаточно, 2009. – 240 с.
5. Там же.
6. Голдратт Э., Кокс Дж. Цель. Процесс непрерывного совершенствования. М., 2009.
7. Рязанова В. А., Люшина Э. Ю. Организация и планирование производства. – М. : Академия. – ISBN 978-5-7695-6252-5; 2010. – 272 с.
8. Голдратт Э., Кокс Дж. Цель. Процесс непрерывного совершенствования. М., 2009.
9. Голдратт Э. Цель-2. Дело не в везении. М., 2011.
10. Корбетт Т. Управленческий учет по ТОС. Киев, 2009. 240 с.
11. XJ technologies. Имитационное моделирование для науки и бизнеса. – URL: <http://www.xjtek.ru>.