

СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ БЕТОНА

О.И. Бабина,

*аспирант кафедры «Математическое моделирование и информатика»
сибирского федерального университета (СФУ),*

Ю.И. Толуев,

доктор технических наук, профессор,

*Институт организации и автоматизации производства общества Фраунгофера
(Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Магдебург, Германия).*

Адрес: г. Красноярск, пр. Свободный, д. 82.

E-mail: babina62@yahoo.com.

В статье рассмотрен практический пример имитационной модели малого промышленного предприятия бетонно-строительной отрасли. Представлена схема движения материальных, финансовых и информационных потоков на промышленном предприятии. Приведено описание процесса построения модели и полученных результатов моделирования.

Ключевые слова: системная динамика, потоковый процесс, имитационная модель, производство бетона, промышленное предприятие, Vensim.

Введение

Мировой финансовый кризис показал, что большинство отечественных промышленных предприятий по производству бетона, располагавших налаженной системой производственно-хозяйственной деятельности, планирования и учета, оказались неспособными быстро реагировать на изменяющиеся условия внешней среды из-за отсутствия необходимых для этого новых инструментов и механизмов управления.

Поэтому одной из центральных задач в управлении этими предприятиями стало внедрение современных информационных технологий, предусматривающих, в частности, применение методов имитационного моделирования [5].

Имитационное моделирование является средством решения задач анализа, планирования и реконструкции производственных и логистических систем. Уже несколько десятилетий назад сложились два подхода к созданию имитационных моделей, отображающих процессы в таких системах:

непрерывный подход в форме системной динамики по Форрестеру и дискретно-событийный подход [2].

Системная динамика – метод разработки моделей потокового типа. Он был создан в конце 1950-х годов Дж. Форрестером в Массачусетском технологическом институте. Уже тогда концепция системной динамики была применена Дж. Форрестером для моделирования экономических процессов на крупных промышленных предприятиях. Это направление получило название индустриальной (промышленной) динамики [6].

Суть данного метода моделирования заключается в том, что создается компьютерная модель сложной системы в форме двух сетевых структур: одна сеть отображает процесс движения и накопления материальных, финансовых и информационных потоков, а вторая – процесс управления этими потоками.

Наиболее распространёнными программными продуктами, основанными на методе системной динамики, являются Vensim, iThink, ModelMaker, STELLA, Powersim и AnyLogic [8].

В данной статье приводится описание как имитационной модели промышленного предприятия по производству бетона, так и результатов, полученных путём проведения экспериментов с этой моделью. Имитационная модель реализована в системе имитационного моделирования Vensim 5.0 PLE.

Объект и цель моделирования

«Бетон-М» – типичное промышленное предприятие малого размера по производству бетона.

Основной вид деятельности предприятия – производство бетона и различных железобетонных изделий. Так как предприятие «Бетон-М» имеет собственный парк специальной техники, оно оказывает услуги по аренде оборудования, резке арматуры, а также занимается продажей продукции собственного производства.

Продажа изделий осуществляется как юридическим, так и физическим лицам. Со сторонними юридическими лицами по продаже железобетонных изделий и бетона предприятие работает как по заказам, так и по договорам на поставку.

Цель моделирования – построить имитационную модель промышленного предприятия по производству бетона, которая позволит рассчитывать основные экономические показатели работы предприятия и оценивать мероприятия, направленные на повышение эффективности его функционирования.

Концептуальная модель

Процесс работы промышленного предприятия можно представить как множество определенным образом организованных материальных, финансовых и информационных потоков (рис. 1.) [7].

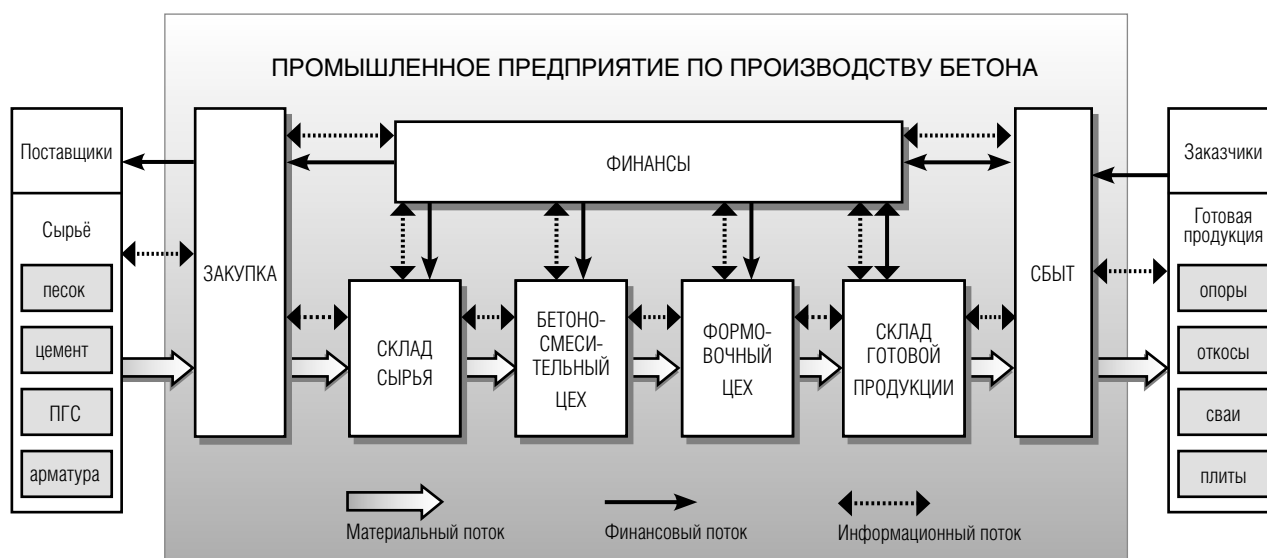


Рис. 1. Схема движения материальных, финансовых и информационных потоков промышленного предприятия бетонно-строительной отрасли.

Под материальным потоком промышленного предприятия бетонно-строительной отрасли понимают как сырьё и материалы (песок, цемент, ПГС, арматуру и др.), так и полуфабрикаты и готовые изделия, рассматриваемые в процессе приложения к ним различных логистических операций и отнесенные к определённому временному интервалу. Логистическими операциями являются отгрузка, транспортировка, разгрузка, комплектация, складирование, упаковка, а также некоторые вспомогательные операции.

Материальные потоки на своем пути проходят несколько этапов преобразования. В ходе логистического процесса сырьё и материалы поступают на предприятие от поставщиков, затем организуется их рациональное использование в процессе производства. На последнем этапе готовая продукция (опоры, откосы, сваи, плиты) поставляется потребителям в соответствии с принятыми от них заказами.

Движение материальных потоков зависит от содержания информационных потоков, так как в основе процесса управления материальными потоками лежит обработка информации.

Информационный поток — совокупность сообщений, циркулирующих как внутри предприятия, так и между предприятием и внешней средой. На базе этих сообщений организуются процессы управления производственными и логистическими процессами на предприятии. По отношению к материальному потоку информационный поток может как совпадать с ним по направлению, так и иметь противоположное направление.

Объектами информационного потока являются бумажные и электронные документы. Измеряется информационный поток количеством обрабатываемой или передаваемой информации за единицу времени.

Совокупность движения денежных средств во времени, сгруппированных по какому-либо признаку и представленных в виде функции времени, называется финансовым потоком.

Элемент финансового потока — это единичное перечисление (перераспределение) денежных средств, относящихся к соответствующему финансовому потоку. Элемент потока задается двумя основными параметрами: размером суммы денег и моментом времени выполнения перечисления.

Финансовые потоки, поступающие на предприятие в процессе продажи товаров и услуг, являются входными (сбытовыми), а финансовые потоки,

направленные на приобретение ресурсов производства — выходными (закупочными). Финансовые потоки, связанные с перераспределением денежных средств внутри предприятия, являются внутренними (производственными).

Нарушение платежеспособности предприятия отрицательно сказывается на формировании запасов сырья, производительности труда, скорости и объемах реализации готовой продукции, положении предприятия на рынке и т. д.

Имитационную модель промышленного предприятия по производству бетона можно представить в виде так называемого «черного ящика» (рис. 2), для которого определены его входные параметры (факторы, влияющие на работу предприятия) и основные выходные показатели процесса его функционирования [4]. Так как исследователю известно содержание всех внутренних процессов модели, вместо понятия «черный ящик» можно применять также известное понятие «серый ящик».



Рис. 2. Имитационная модель предприятия как «черный ящик».

Разработка модели в системе имитационного моделирования Vensim

Система имитационного моделирования Vensim была создана в 1985 г. на фирме Ventura Systems (США). В настоящее время существуют следующие версии этой системы: Vensim PLE, Vensim PLE Plus, Vensim Standard, Vensim Professional и Vensim DSS. Бесплатная версия Vensim PLE (Vensim Personal Learning Edition) предназначена для работы индивидуальных пользователей, конструирующих относительно несложные модели. Эта версия широко применяется во многих странах мира уже с 1996 года [9].

Марка бетона характеризует основные свойства бетонной смеси и она зависит от количества цемента, используемого при ее изготовлении.

На моделируемом промышленном предприятии производятся бетоны следующих марок: марка 1 (м200), марка 2 (м300), марка 3 (м400). Цифры марки бетона обозначают предел прочности на сжатие кгс/кв.см. Для производства опор и откосов используются бетонные смеси с низким содержанием цемента – марка 1. Для производства свай и плит применяются марки бетона со средним содержанием цемента (для свай – марки 2, для плит – марки 3).

Готовая бетонная смесь производится на базе четырех основных компонентов, замешиваемых в определенной пропорции: цемент, щебень, песок, вода. Соблюдение правильной пропорции для этих компонентов – главнейшая задача в производстве бетона.

При производстве железобетонных изделий предприятием «Бетон-М» используются следующие сырьевые компоненты: цемент марок Ц100-Ц600, песок карьерный, песок речной, щебень гравийный, щебень гранитный, арматура, противоморозные добавки и вода.

В таб. 1 приведены составы основных марок товарного бетона, используемые предприятием «Бетон-М» в производстве. Данные рецептуры разработаны для

бетонных смесей подвижности П2 (осадка конуса составляет 5-9 см.). Бетонные смеси с данной подвижностью являются наиболее востребованными на рынке. При производстве товарного бетона с иным показателем П состав рецептуры будет изменен.

Таблица 1.

Расход материалов при производстве 1 м³ бетонных смесей.

Состав \ Марка	Ед. изм.	Марка 1	Марка 2	Марка 3
Цемент марки Ц100	кг.		250	
Цемент марки Ц200	кг.	300		
Цемент марки Ц300	кг.	450		
Цемент марки Ц400	кг.			
Цемент марки Ц500	кг.		500	
Цемент марки Ц600	кг.			800
Песок речной	кг.	800	500	
Песок карьерный	кг.	450		600
Щебень гранитный	кг.	1300		1600
Щебень гравийный	кг.		1450	
Противоморозные добавки	кг.			1,503



Рис. 4. Динамика изменения спроса на производимую продукцию.

Второй модуль имитационной модели описывает сценарии управления и хранения запасов предприятия (рис. 5).

Основные виды сырья (песок, щебень, ПГС, цемент), необходимые для постоянного и непрерывного производства, почти всегда есть в наличии на предприятии.

Поставка песка (речной, карьерный) осуществляется в соответствии с графиком поставок в летние месяцы. Поставка других необходимых компонентов для производства бетона осуществляется с учетом остатков на складе и интенсивности потребления сырья в процессе производства.

Сырьевые материалы для производства железобетонных изделий после приемки и соответствующей переработки (дробление, рассев, усреднение) используются в производственном цикле, в результате чего они превращаются в готовую продукцию, а затем поступают на склад.

В третьем модуле имитационной модели (рис. 6) отображается процесс расчёта экономических показателей функционирования предприятия.

В этом модуле происходит расчёт балансовой прибыли предприятия, выручки от реализации продукции, затрат на производство и других показателей.

Балансовая прибыль предприятия рассчитывается как разница между выручкой от реализации продукции (без косвенных налогов) и затратами на производство и реализацию продукции.

Выручка от реализации продукции находится суммарно от продажи всей произведённой продукции.

Затраты на производство продукции группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам: материальные затраты, затраты на оплату труда, отчисления на социальные нужды (единый социальный налог), амортизация основных фондов, прочие затраты.

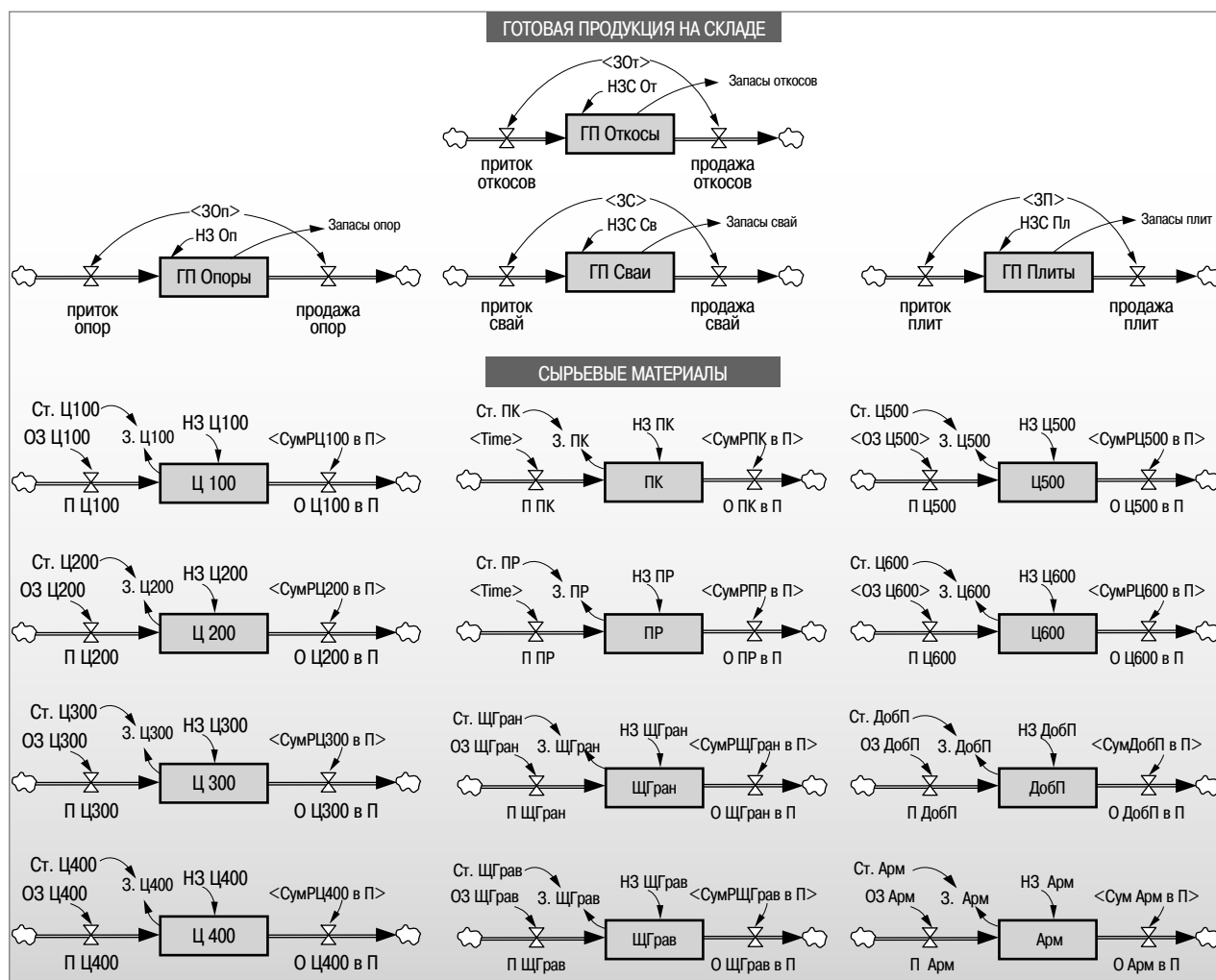


Рис. 5. Модуль «Управление запасами предприятия».

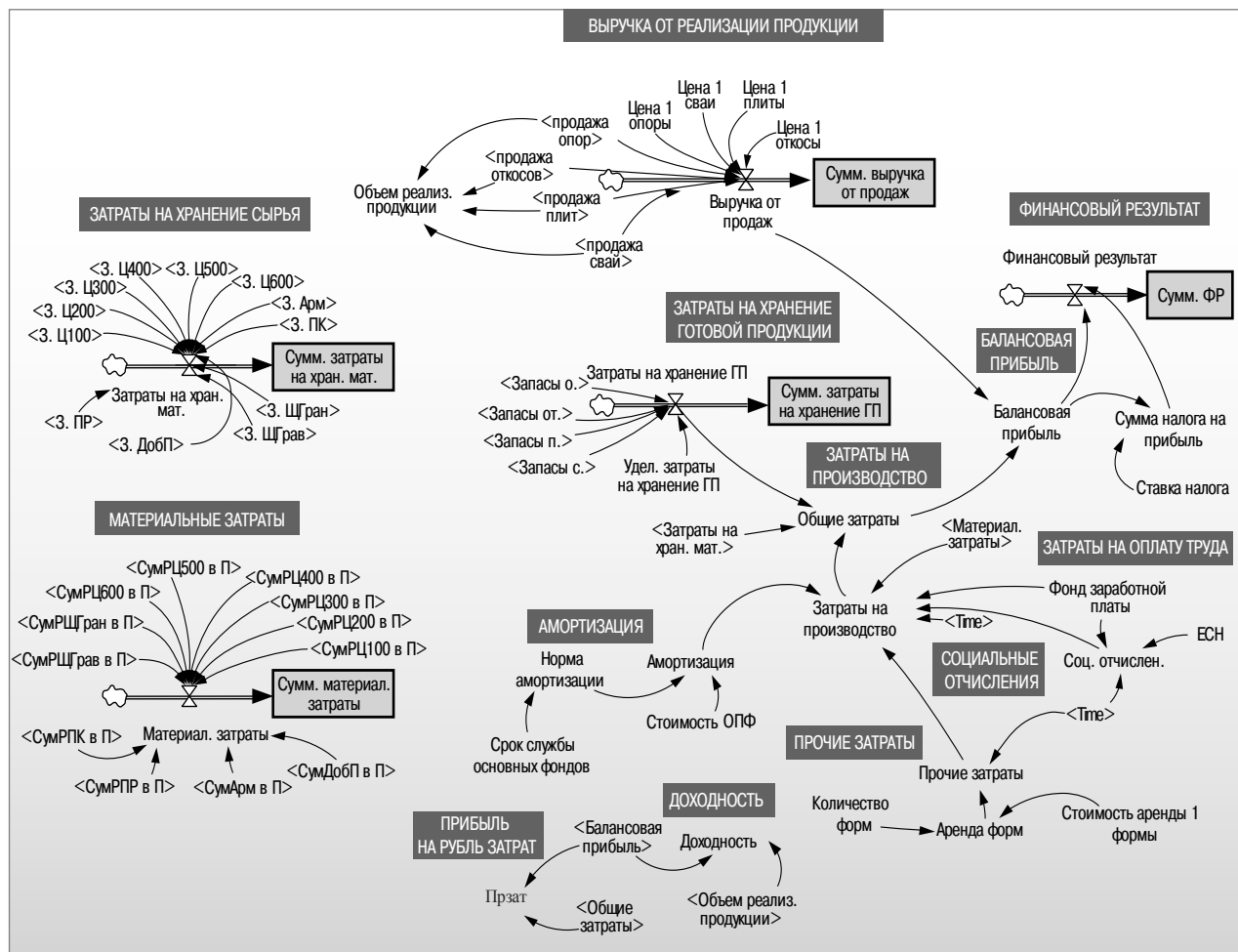


Рис. 6. Модуль «Экономические показатели предприятия».

Материальные затраты – это те затраты, которые осуществляет предприятие на закупку основных сырьевых ресурсов (песок, щебень, бетон, ПГС), необходимых для производства. К материальным затратам относят также потери продукции и материалов в пределах норм естественной убыли их при хранении и транспортировке.

К затратам на оплату труда относят затраты на оплату труда основного производственного персонала предприятия, включая премии и компенсирующие выплаты рабочим и служащим.

Отчисления на социальные нужды отражают обязательные отчисления по установленным законодательством нормам (единый социальный налог), производящиеся из общего фонда заработной платы.

Амортизация основных фондов находится как сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, исчисленная исходя из балансовой стоимости и установленных норм амортизации.

К прочим расходам относят плату за аренду форм, взятых предприятием у сторонних организаций.

Совокупные издержки на хранение, а также суммарные затраты на производство по каждому компоненту сырьевых ресурсов представлены в модуле на рис. 6.

В разработанной имитационной модели предусмотрена возможность варьирования значениями параметров (рис. 7 и 8). Это позволяет анализировать различные варианты развития процессов в системе. Сравнивая и оценивая эти варианты, исследователь получает полную картину процесса функционирования предприятия.

На рис. 7 представлен модуль управления прибылью, который позволяет варьировать цены на основную производимую продукцию и автоматически отображать результаты этих изменений на графике «Финансовый результат деятельности предприятия».



Рис. 7. Модуль управления прибылью предприятия.

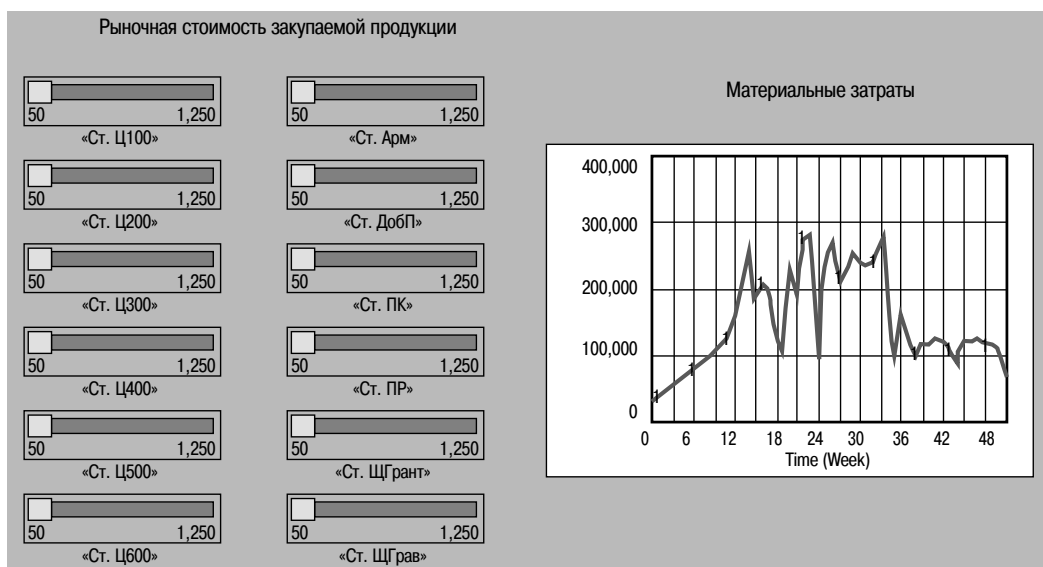


Рис. 8. Модуль управления затратами предприятия.

На рис. 8 изображён модуль управления затратами предприятия, с помощью которого исследователь может изменять закупочные цены на материалы и видеть результаты этих изменений на выходном графике – «Материальные затраты».

Верификация и валидация модели

Важным этапом при разработке имитационной модели является её верификация и валидация.

Верификация модели осуществлялась следующим образом: отдельно проверялась правильность расчетов в каждом блоке модели и сравнивалась с ручным расчётом, затем аналогичным образом проверялась модель в целом.

После этого модель была проверена на адекватность: на вход модели подавались исходные данные о работе предприятия в предшествующем 2010 году. Полученные выходные данные модели сравнивались с выходными данными, полученными в результате производственно-хозяйственной деятельности предприятия. Так как основные результаты деятельности предприятия, полученные в процессе моделирования, несущественно отличались от фактических данных, модель была признана валидной.

На основе такой валидной модели можно проводить эксперименты, направленные на изучение возможностей повышения эффективности функционирования предприятия.

**Получение
и анализ результатов
имитационного моделирования**

После построения модели и проверки её на адекватность было проведено несколько пробных прогонов и найдены усредненные показатели функционирования предприятия. Результаты моделирования представлены в *табл. 2*.

Таблица 2.

**Основные
экономические показатели
функционирования предприятия**

Показатели	Значения			
	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал
Балансовая прибыль, тыс. руб.	-150438	403420	300250	-178022
Сумма налога на прибыль, тыс. руб.	-36105	96820	72060	-42725
Выручка от продаж, тыс. руб.	320000	850050	680248	267400
Прибыль на рубль затрат, %	-0,45	0,58	0,23	-0,056
Доходность продукции, %	-1661	1520	985	-405
Затраты на производство продукции, тыс. руб.	98000	156040	100198	43920
Общие затраты, тыс. руб.	390560	450690	44000	400200

На *рис. 9* представлен график изменения балансовой прибыли предприятия, а на *рис. 10* – график изменения затрат на производство.

Анализируя график балансовой прибыли предприятия, можно сделать вывод, что максимальную прибыль предприятие получает в весенне-летний период. Это объясняется тем, что в этот период объемы производства значительно увеличиваются. Что касается графика изменения затрат на производство, то эти затраты также увеличиваются с ростом объема производства.

Было принято решение провести эксперименты с моделью, чтобы найти ответы на следующие вопросы:

1. Как увеличение стоимости закупки материалов в два раза отразится на графике балансовой прибыли?

2. Как увеличение стоимости выпускаемой продукции на 50% повлияет на балансовую прибыль?

Результаты реализации первого эксперимента представлены на *рис. 11* (Current – прежняя балансовая прибыль, Current2 – изменённая балансовая прибыль), а результаты реализации второго эксперимента представлены на *рис. 12*. В первом случае значения балансовой прибыли уменьшаются для отдельных недель на сумму до 150 тыс. руб., а во втором случае они возрастают на сумму до 500 тыс. руб. В качестве исходной (прежней) балансовой прибыли во втором эксперименте используется изменённая балансовая прибыль первого эксперимента, т.е. результат второго эксперимента показывает ситуацию в системе, которая возникает после реализации обоих описанных выше изменений.



Рис. 9. График изменения балансовой прибыли предприятия.



Рис. 10. График изменения затрат на производство.

Литература

1. Алехнович С.О., Слизовский Д.Е., Ожиганов Э.Н. Системно-динамическое моделирование: принципы, структура и переменные (на примере московской области) // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Политология – 2009. № 1. – с. 22-36.
2. Борщёв А.В. От системной динамики и традиционного имитационного моделирования – к практическим агентным моделям: причины, технологии, инструменты // <http://www.gpss.ru/paper/borshevarc.pdf>.
3. Бром, А.Е. Динамическая модель потоковых процессов промышленного предприятия // Экономика и управление в машиностроении – 2009. – Т. 1, № 1, – с. 3-11.
4. Горбунов А.Р., Лычкина Н.Н. Парадигмы имитационного моделирования: новое в решении задач стратегического управления (объединенная логика имитационного моделирования) // Бизнес-информатика – 2007. № 2. – с. 60-66.
5. Дудко, В.А. Динамическое моделирование ситуационного управления промышленным предприятием: Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата экономических наук. – Тамбов, 2004. – 17 с.
6. Лычкина Н.Н. Ретроспектива и перспектива системной динамики. Анализ динамики развития // Бизнес-информатика – 2009. № 3. – с. 55-67.
7. Мухаметшина Л.Ф. Формирование стратегий повышения инвестиционной привлекательности предприятий // Вестник Казанского государственного финансово-экономического института – 2009. № 1. – с. 25-28.
8. Сидоренко В.Н., Красносельский А.В. Имитационное моделирование в науке и бизнесе: подходы, инструменты, применение // Бизнес-информатика – 2009. № 2. – с. 52-57.
9. Худякова Е.В., Липатов А.А. Имитационное моделирование экономических процессов в АПК. – М.: Издательский центр МГАУ, 2006. – 186 с.



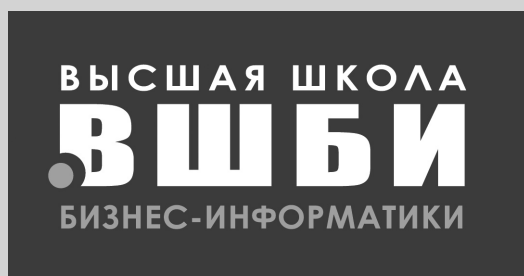
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

ФАКУЛЬТЕТ БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКИ

ВЫСШАЯ ШКОЛА БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКИ

ИНФОРМАЦИОННАЯ БИЗНЕС-АНАЛИТИКА

(БИЗНЕС-АНАЛИТИКА В УПРАВЛЕНИИ БИЗНЕСОМ)



НОВАЯ ПРОГРАММА

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ

Новая компактная программа класса мини-MBA (время обучения 550 часов, 8 месяцев) в сфере бизнес-аналитики.

Программа разработана на основе мировых стандартов в сфере ВРМ и бизнес-аналитики, а так же с учетом требований российских профессиональных стандартов.

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

Адрес: Москва, ул. Кирпичная, 33/5. (Метро Электrozаводская, Семеновская)

Телефоны: (495) 771-3238, 772-9561, 769-7752. Факс: (495) 771-3238

E-mail: admin@hsbi.ru, Web: <http://hsbi.ru>

Лицензия: А №169749 рег. №2214 от 21.12.2005 Аккредитация: В № 000790 рег. №2214 от 21.12.2005