

Е.Г. ХОЛОД, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой Днепропетровского университета экономики и права

Н.О. РИЗУН, кандидат технических наук, доцент Днепропетровского университета экономики и права

СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

С развитием средств вычислительной техники и программного обеспечения одним из эффективных инструментов управления предприятием становится метод имитационного моделирования. Этот метод, в общем случае, определяется как процесс проведения вычислительных экспериментов с математическими моделями реальных сложных систем. Цели проведения подобных экспериментов самые различные: выявление свойств и закономерностей поведения исследуемой системы в различных ситуациях; прогнозирование основных показателей, характеризующих систему; оптимизация критериев эффективности работы [1, 2, 3, 5].

В данной статье рассматриваются проблемы расширения спектра применения имитации в сфере экономики как для решения задач внутрифирменного управления, так и для моделирования управления на макроэкономическом уровне. Необходимость использования данных инструментов моделирования, с точки зрения авторов, обусловлена следующими причинами:

– *во-первых*, проведение реальных экспериментов с экономическими системами требует значительных затрат и часто трудно осуществимо на практике. Кроме того, имитация позволяет моделировать поведение еще не созданной (то есть проектируемой) системы;

– *во-вторых*, для того, чтобы адекватно оценить поведение сложной системы, необходимо иметь достаточный объем статистического материала, описывающего поведение системы в различных экономических ситуациях. Сбор такой информации связан с большой трудоемкостью данной операции, осложнен

конфиденциальностью или отсутствием данного вида информации (например, в случае оценки риска инвестиционных проектов). При этом отсутствующие фактические данные заменяются величинами, полученными в процессе имитационного эксперимента;

– *в-третьих*, большинство экономических систем описываются стохастическими моделями (т. е. содержащими случайные величины, поведение которых не поддается влиянию со стороны лиц, принимающих решения). Именно использование имитации (стохастическую имитацию часто называют методом Монте-Карло) позволяет сделать выводы о возможных результатах, основанные на вероятностных распределениях случайных факторов;

– *в-четвертых*, сложностью экономических систем обуславливается сложность математических моделей и, как следствие, громоздкость (или полное отсутствие) эффективных экономико-математических методов оптимизации. Имитационное моделирование предлагает универсальные, не зависящие от вида целевой функции и типа ограничений, простые в реализации методы исследования, позволяющие получить субоптимальные решения [5, 6].

Имитационный эксперимент можно разбить на такие этапы:

– установление взаимосвязи между исходными и выходными данными;

– определение законов распределения вероятностей для ключевых параметров модели;

– проведение компьютерной имитации;

– расчет основных характеристик распределений показателей;

– анализ полученных результатов, возможная корректировка модели и принятие управленческих решений.

Приведем ряд практических примеров применения технологии имитационного моделирования.

Пример 1. Имитационная модель системы управления запасами.

Применение метода Монте-Карло для решения данного типа задачи обусловлено случайным характером поведения основных характеристик системы – величины спроса и времени прибытия поставки. *Основные переменные:* B – номер текущих суток, TP – время (сутки) прибытия очередной поставки, V – текущий уровень запаса, D – спрос (расход) в текущие сутки, TD – время с момента заказа до прибытия поставки, C_1 – затраты на хранение единицы продукции в течение суток, C_2 – затраты на выполнение одной поставки, C_3 – потери из-за нехватки (дефицита) единицы продукции в течение суток. Параметрами управления системы являются: N – объем одной поставки, V_k – критическая величина запаса, при которой необходимо заказать новую партию продукции. Критерий эффективности управления – полные издержки системы.

Алгоритм решения задачи представлен на рис. 1.

Согласно данному алгоритму:

1) на *первом* шаге решается задача прогноза значения критерия Z при фиксированных параметрах N и V_k (при этом в связи с учетом случайных факторов имитационный эксперимент необходимо повторить m раз ($m \rightarrow \infty$) с целью нахождения наиболее достоверного (адекватного) значения функции цели – среднего значения \bar{Z}_i);

2) на *втором* шаге решается задача минимизации суммарных затрат. Для этого необходимо k раз ($k \rightarrow \infty$) решить задачу прогноза, каждый раз изменяя значения параметров N и V , и выбрать из полученных решений сочетание, обеспечивающее наилучшее значение целевой функции.

Нужно отметить, что полученное на втором шаге решение является субоптимальным, т. к. зависит от выбранного

значения параметра k (*количества проводимых экспериментов*) и разработанного лицом принимающим решение алгоритма изменения управляющих параметров.

Пример 2. Метод ненаправленного случайного поиска в задаче определения оптимального объема производства.

Применение метода имитации для решения данного типа задачи обусловлено сложностью (нелинейностью) постановки задачи.

Постановка задачи. В течение года требуется выпустить 1000 т стали, причем возможно использование двух технологических процессов (например, мартеновского и кислородно-конверторного). В производстве задействованы мощности трех цехов. Обозначим X_1, X_2 – объемы металла, производимые первым и вторым способами соответственно; C_1, C_2 – соответствующая себестоимость продукта. Зависимости себестоимости от объема производства для каждого технологического способа определяются соотношениями

$$C_1 = 140X_1^{-0,07}, C_2 = 150X_2^{-0,14}.$$

Зависимости трудоемкости от объемов производства по цехам:

Цех	Производственная мощность	Зависимость трудоемкости от объема производства	
		Способ	
		I	II
1 цех	3 200,00	5,00	10,00
2 цех	16 000,00	24,00	6,00
3 цех	5 000,00	8,00	14,00

Экономико-математическая модель задачи будет иметь вид:

$$F = 140X_1^{-0,07}X_1 + 150X_2^{-0,14}X_2 \rightarrow \min,$$

$$\begin{cases} X_1 + X_2 = 1000, \\ 5X_1^{-0,1}X_1 + 10X_2^{-0,15}X_2 \leq 3200, \\ 24X_1^{-0,06}X_1 + 6X_2^{-0,07}X_2 \leq 16000, \\ 8X_1^{-0,12}X_1 + 14X_2^{-0,11}X_2 \leq 5000, \quad X_1, X_2 \geq 0. \end{cases}$$

Метод ненаправленного случайного поиска для решения данной задачи состоит в следующем:

1) вырабатывается множество случайных точек A_i ($i = 1, n, n \rightarrow \infty$), равномерно распределенных в пространстве

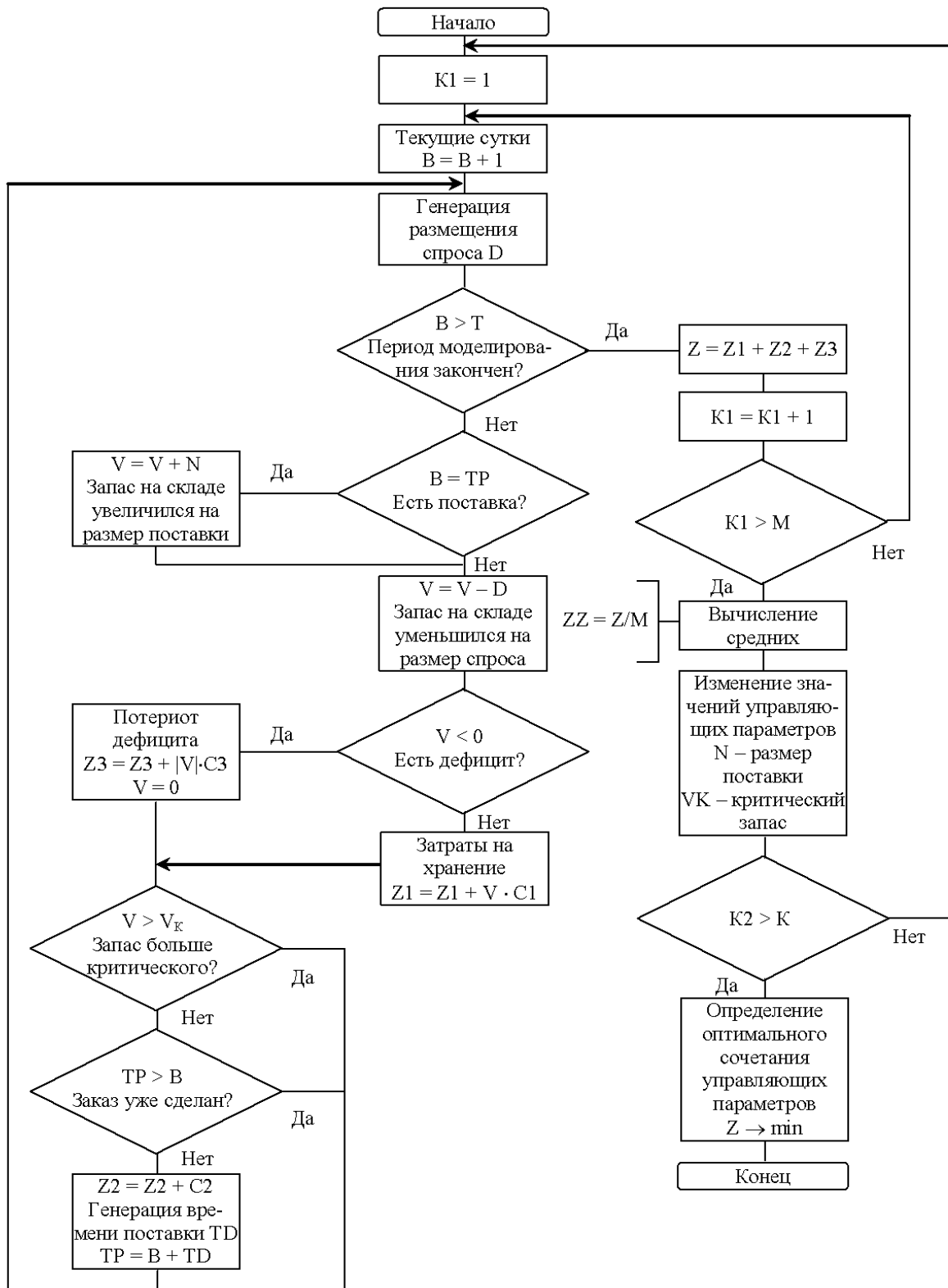


Рис. 1. Алгоритм решения задачи управления запасами

испытаний (происходит масштабирование случайных чисел);

2) проверяется принадлежность данных точек к пространству допустимых решений, которое задается системой ограничений задачи;

3) для точек, которые принадлежат области допустимых решений, вычисляется значение критерия оптимальности;

4) субоптимальным решением задачи считается та точка, для которой значение критерия экстремально.

Пример одного из вариантов реализации имитационной модели оптимизации выпуска продукции методом направленного случайного поиска представлен в табл. 1 (субоптимальное решение выделено подчеркиванием).

Пример 3. Имитационное моделирование анализа рисков инвестиционного проекта.

Применение имитационного моделирования для решения данного типа задачи обусловлено необходимостью прогнозировать поведение системы, отсутствующей в настоящий момент времени.

Постановка задачи. Рассматривает инвестиционный проект по производству продукта *A*. В процессе предварительного анализа, экспертами выявлены три ключевых параметра проекта и определены возможные границы их изменений. При этом предполагается, что все ключевые переменные, являясь величинами случайными, подчиняются равномерному закону распределения.

Ключевые параметры проекта	Показатель	
	Наихудший	Наилучший
Объем выпуска, Q (шт.)	150	300
Цена за штуку, P (у. е.)	40	55
Переменные затраты, V (у. е.)	35	25

Остальные параметры проекта (постоянные затраты, амортизация, налог на прибыль, норма дисконта, срок проекта, начальные инвестиции и т. п.) считаются величинами постоянными. В качестве критерия эффективности модели используется чистая современная стоимость проекта NPV.

Имитационный эксперимент выполняется в два этапа:

Таблица 1

Результаты решения задачи оптимизации выпуска продукции методом направленного случайного поиска

A_i (случайная величина)	X_1	X_2	F	Ограничение 1	Ограничение 2	Ограничение 3
0,6	560,5	439,5	недопустимо	3 252,36	10 924,04	5 248,53
0,9	861,0	139,0	85 556,8	2 853,16	14 366,48	4 191,94
0,4	405,7	594,3	недопустимо	3 392,48	9 071,07	5 699,65
0,6	595,2	404,9	недопустимо	3 215,94	11 331,57	5 140,10
0,5	504,9	495,1	недопустимо	3 306,74	10 365,68	5 416,45
0,3	261,7	738,3	недопустимо	3491,44	7287,27	6072,07
0,4	364,7	635,3	недопустимо	3423,77	8569,82	5810,46
0,9	881,3	118,7	85 875,8	2816,29	14591,05	4107,09
0,9	858,9	141,1	85 520,8	2857,00	14591,05	4107,09
0,0	2,0	998,0	недопустимо	3551,39	3738,03	6551,33
0,5	474,2	525,8	недопустимо	3334,82	9898,36	5506,42
0,4	420,3	579,7	недопустимо	3380,76	9248,45	5659,30
0,0	20,7	979,3	недопустимо	3562,04	4042,17	6542,65
0,3	289,9	710,1	недопустимо	3474,51	7642,48	6002,87
0,6	583,1	416,9	недопустимо	3228,85	11189,89	5178,20
0,8	827,2	172,8	84 960,6	2910,52	13989,14	4327,97
0,7	695,9	304,1	82 103,9	3098,18	12500,15	4808,15
0,7	681,1	318,9	81 739,1	3116,59	12329,92	4858,61
0,4	426,8	573,2	недопустимо	3375,41	9327,61	5641,11
0,2	175,2	824,8	недопустимо	3534,88	6176,60	6270,80
0,6	580,4	419,6	недопустимо	3231,69	11158,37	5186,62
0,5	456,5	543,5	недопустимо	3350,40	9685,37	5557,41
0,3	257,9	742,1	недопустимо	3493,55	7238,69	6081,33

1) Моделирование возможных (прогнозных) значений настоящей приведенной стоимости на основании информации об основных параметрах системы и функциональной зависимости критерия эффективности от управляющих параметров (табл. 2).

Несмотря на условность этих показателей, в целом они представляют собой индикаторы целесообразности проведения дальнейшего анализа.

Анализ результатов проведения имитационного моделирования (этап 2) может выглядеть следующим образом:

Таблица 2

Результаты I этапа имитационного эксперимента

Переменные расходы (V)	Количество (Q)	Цена (P)	Поступления (NCft)	Настоящая приведенная стоимость (NPV)
32	181	46	873,6	1 311,63
35	150	40	160,0	-1 393,47
29	164	54	1500,0	3 686,18
25	242	53	2570,4	7 743,84
25	188	49	1664,8	4 310,90
29	291	54	2770,0	8 500,48
32	231	47	1246,0	2 723,32
34	195	41	406,0	-460,94
26	262	45	1851,2	5 017,50
26	292	54	3130,4	9 866,68
26	190	49	1608,0	4 095,59

2) Анализ полученных в результате эксперимента данных и обоснование принятия управленческого решения (табл. 3).

Результатом первого этапа моделирования является определение:

– чистой стоимости *неопределенности* для инвестора в случае *принятия проекта* (сумма всех отрицательных значений NPV в полученной генеральной совокупности);

– чистая стоимость *неопределенности* для инвестора в случае *отклонения проекта* (сумма всех положительных значений NPV).

Обоснование управленческого решения в данном примере будет базироваться на следующих показателях:

– коэффициент вариации (0,64) меньше 1, т. е. риск данного проекта в целом ниже среднего риска инвестиционного портфеля фирмы;

– результаты вероятностного анализа показывают, что шанс получить отрицательную величину NPV не превышает 9%;

– величина стандартного отклонения чистых поступлений от проекта NCF

Таблица 3

Результаты II этапа имитационного эксперимента

Показатель	Переменные расходы (V)	Количество (Q)	Цена (P)	Поступления (NCft)	Настоящая приведенная стоимость (NPV)
Среднее значение	30,29	225,90	47,86	1 443,64	3 472,55
Стандартное отклонение	3,12	43,60	4,67	585,55	2 219,00
Коэффициент вариации	0,10	0,19	0,10	0,41	0,64
Минимум	25,00	150,00	40,00	160,00	-1 393,47
Максимум	35,00	300,00	55,00	3 528,80	10 353,42
Число случаев NPV<0					21,00
Сумма убытков	<i>Чистая стоимость неопределенности для инвестора в случае принятия проекта</i>				-9 130,85
Сумма доходов	<i>Чистая стоимость неопределенности для инвестора в случае отклонения проекта</i>				1 741 933,27

составляет всего 41% от среднего значения;

– с вероятностью более 90% можно утверждать, что поступления от проекта будут положительными величинами.

Таким образом, можно утверждать, что имитационное моделирование является мощным средством анализа поведения сложных экономических систем в условиях неопределенности, позволяющим учитывать максимально возможное число факторов внешней среды для поддержки принятия управленческих решений, а также применять простые, не зависящие от вида целевой функции и типа ограничений методы решения. К недостаткам рассмотренного подхода можно отнести относительную неточность по сравнению с другими методами численного анализа полученных результатов (субоптимальность решения), а также объемность и громоздкость многих имитационных моделей.

Список использованной литературы

1. Лоу А.М. Имитационное моделирование / А.М. Лоу, В.Д. Кельтон. – Питер: Классика, 2004. – 230 с.
2. Маклаков С.В. Моделирование бизнес-процессов с BPWIN / С.В. Маклаков. – М.: Диалог МИФИ, 2002. – 135 с.
3. Чавкин А.М. Методы и модели рационального управления в рыночной экономике / А.М. Чавкин. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 188 с.
4. Лукасевич И.Я. Анализ финансовых операций / И.Я. Лукасевич. – М., Наука, 2000. – 120 с.
5. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М.: Наука, 1978. – 245 с.
6. Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем / В.Н. Бусленко. – М.: Наука, 1977. – 278 с.