

## 2. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ИМИТАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ СОБЫТИЙ

### 2.1. Имитация случайных событий

Под случайным событием будем понимать любое событие, которое может произойти с некоторой вероятностью  $P$  (или не произойти с вероятностью  $1-P$ ).

**Имитация случайного события** на основе метода Монте-Карло выполняется следующим образом. Разыгрывается СРРЧ  $R$ . Если  $0 \leq R \leq P$  (где  $P$  - вероятность имитируемого события), то смоделировано появление данного события; если  $R \geq P$ , то смоделировано отсутствие события.

Обоснование этого алгоритма следующее. Методами теории вероятностей можно доказать, что вероятность попадания СРРЧ в любой интервал, имеющий длину  $P$  (где  $0 \leq P \leq 1$ ), равна самой величине  $P$ . Таким образом, вероятность попадания СРРЧ  $R$  в интервал  $(0; P)$  равна  $P$ . Другими словами, попадания СРРЧ  $R$  в диапазон  $(0; P)$  происходят с той же частотой, что и имитируемое событие, вероятность которого также равна  $P$ .

Например, вероятность попадания СРРЧ в интервал  $(0; 0,4)$  равна 0,4. Это означает, что из 100 разыгранных СРРЧ примерно 40 принимают значения из интервала от 0 до 0,4. Поэтому при попадании СРРЧ  $R$  в интервал  $(0; 0,4)$  можно считать, что смоделировано событие, вероятность которого равна 0,4.

Примечание. Как отмечено выше, вероятность попадания СРРЧ в *любой* интервал, имеющий длину  $P$  (где  $0 \leq P \leq 1$ ), равна  $P$ . Например, вероятность попадания СРРЧ в любой интервал, имеющий длину 0,4 (например, в интервал от 0,3 до 0,7 или от 0,6 до 1), также равна 0,4. Поэтому для моделирования события, вероятность которого равна  $P$ , может использоваться не только интервал  $(0; P)$ , но и любой другой интервал, имеющий длину  $P$  (из диапазона от 0 до 1).

**Пример 2.1.** Предприятие выпускает некоторые изделия. На основе наблюдений известно, что в 8% изделий имеется брак. Выпуск годного изделия дает предприятию прибыль в размере 7 ден.ед., выпуск бракованного изделия – убыток в размере 5 ден.ед. Требуется разработать алгоритм имитации выпуска изделий на основе метода Монте-Карло и реализовать его в виде программы. Определить среднюю прибыль предприятия от выпуска одного изделия.

В данном примере брак в изделии - случайное событие, вероятность которого равна 0,08.

Алгоритм имитации выпуска изделий может быть следующим. Разыгрывается СРРЧ  $R$ . Если  $R < 0,08$ , то смоделирован выпуск бракованного изделия; прибыль предприятия уменьшается на 5 ден.ед. Если  $R \geq 0,08$ , то смоделирован выпуск годного изделия; прибыль предприятия увеличивается на 7 ден.ед. Эти действия выполняются многократно, например, 100 000 раз (выполняется 100 000 испытаний).

Таким образом, каждое испытание в этом алгоритме представляет собой имитацию выпуска одного изделия.

В табл.2.1 приведены пять испытаний алгоритма. Случайные числа (СРРЧ  $R$ ) взяты из прил.1.

Здесь, например, в первом испытании разыграно СРРЧ  $R=0,0795$ . Так как  $R<0,08$ , смоделирован выпуск бракованного изделия, т.е. убыток в размере 5 ден.ед. Во втором испытании разыграно СРРЧ  $R=0,3780$ . Так как  $R\geq 0,08$ , смоделирован выпуск годного изделия, т.е. прибыль в размере 7 ден.ед.

Таблица 2.1

Номер испытания	$R$	Изделие годное/бракованное	Прибыль (убыток)
1	0,0795	Бракованное	-5
2	0,3780	Годное	7
3	0,0593	Бракованное	-5
4	0,7602	Годное	7
5	0,2847	Годное	7

Приведем программу на языке Visual Basic for Applications (VBA), реализующую алгоритм имитации выпуска изделий (основные правила работы с системой программирования VBA приведены в прил.2).

```
sub primer21()
' Имитация выпуска изделий
n=100000 : p=0.02 : prib=7 : ub=5
brak=0 : sumprib=0
for i=1 to n
r=rnd
if r<p then
sumprib=sumprib-ub
else
sumprib=sumprib+prib
end if
next i
sredprib=sumprib/n
msgbox("Средняя прибыль от выпуска одного изделий "+str(round(sredprib,2)))
end sub
```

Результат выполнения этой программы должен быть следующим: средняя прибыль от выпуска одного изделия - примерно 6,76 ден.ед.

Примечание. Алгоритм имитации выпуска изделий можно было реализовать и по-другому: если  $R<0,92$ , то смоделирован выпуск *годного* изделия, если  $R\geq 0,92$  - выпуск бракованного изделия.

Рассмотрим имитацию **полной группы** событий. Полная группа событий  $A_1, A_2, \dots, A_n$  - это события, которые являются несовместными (т.е. не могут произойти никакие два события вместе), но одно из них происходит обязательно. Сумма вероятностей таких событий равна единице:  $P_1+P_2+\dots+P_n=1$ .

Полная группа событий имитируется следующим образом. Диапазон  $(0; 1)$  разбивается на интервалы  $(0; P_1)$ ,  $[P_1; P_1+P_2)$ ,  $[P_1+P_2; P_1+P_2+P_3)$ , ...,  $[1-P_n; 1)$ . Разыгрывается СРРЧ  $R$ . Определяется интервал (с некоторым номером  $j$ ), в который попадает значение  $R$ , и фиксируется  $j$ -е событие ( $A_j$ ).

**Пример 2.2.** Предприятие по ремонту бытовой электроники выполняет ремонт радиоприемников, телевизоров, магнитофонов и телефонов. Известно, что примерно 20% заказов, поступающих на предприятие, составляют заказы на ремонт радиоприемников, 40% - заказы на ремонт телевизоров, 15% - заказы на ремонт магнитофонов, 25% - заказы на ремонт телефонов (будем считать, что по каждому заказу требуется ремонт только одного изделия). Прибыль предприятия от ремонта одного радиоприемника составляет 35 ден.ед, телевизора – 60 ден.ед., магнитофона – 40 ден.ед., телефона – 25 ден.ед.

Требуется разработать алгоритм имитации работы ремонтного предприятия на основе метода Монте-Карло и реализовать его в виде программы. Определить среднюю прибыль предприятия от выполнения одного заказа.

В данном примере виды заказов (заказы на ремонт радиоприемников, телевизоров, магнитофонов и телефонов) составляют полную группу событий. Алгоритм имитации работы предприятия может быть следующим.

Разыгрывается СРРЧ  $R$ . Если  $R < 0,2$ , то смоделировано поступление заказа на ремонт радиоприемника. Если  $0,2 \leq R < 0,6$ , то смоделирован заказ на ремонт телевизора, если  $0,6 \leq R < 0,75$  – заказ на ремонт магнитофона, если  $0,75 \leq R < 1$  – заказ на ремонт телефона. Прибыль предприятия увеличивается на соответствующую величину (35, 60, 40 или 25 ден.ед.). Эти действия повторяются многократно, например, 100 000 раз.

В табл.2.2 приведены пять испытаний алгоритма.

Таблица 2.2

Номер испытания	$R$	Заказ	Прибыль
1	0,0795	Радиоприемник	35
2	0,3780	Телевизор	60
3	0,0593	Радиоприемник	35
4	0,7602	Телефон	25
5	0,2847	Телевизор	60

Приведем программу на языке VBA, реализующую алгоритм имитации работы ремонтного предприятия.

```
sub primer22()
' Имитация работы ремонтного предприятия
n=100000 : sumprib=0
for i=1 to n
r=rnd
if r<0.2 then sumprib=sumprib+35
if (r>=0.2)and(r<0.6) then sumprib=sumprib+60
if (r>=0.6)and(r<0.75) then sumprib=sumprib+40
if r>=0.75 then sumprib=sumprib+25
next i
sredprib=sumprib/n
msgbox("Средняя прибыль от ремонта одного изделия "+str(round(sredprib,2)))
end sub
```

Результат имитации должен быть следующим: средняя прибыль от ремонта одного изделия - примерно 43,28 ден.ед.

Примечание. Алгоритм имитации работы предприятия можно было реализовать и по-другому. Например, можно разбить диапазон (0; 1) на интервалы (0; 0,15), [0,15; 0,4), [0,4; 0,8), [0,8; 1). В этом случае, если  $R < 0,15$ , то следует считать, что смоделирован заказ на ремонт магнитофона; если  $0,15 \leq R < 0,4$ , то смоделирован заказ на ремонт телефона, если  $0,4 \leq R < 0,8$  – заказ на ремонт телевизора, если  $0,8 \leq R < 1$  – заказ на ремонт радиоприемника.

## **2.2. Примеры решения задач на основе алгоритмов имитации случайных событий**

**Пример 2.3.** При выпуске некоторых деталей требуется последовательная обработка на двух станках: сначала – на токарном, затем – на шлифовальном. Материал, из которого изготавливается деталь, стоит 20 ден.ед. Затраты, связанные с обработкой детали на токарном станке, составляют 5 ден.ед., на шлифовальном – 4 ден.ед.

При обработке на токарном станке в 8% случаев толщина детали оказывается меньше заданной, в 12% случаев – больше заданной, в остальных 80% случаев – нормальной. Детали, толщина которых оказывается меньше заданной, бракуются и не поступают на дальнейшую обработку (т.е. на шлифовальный станок). Детали, толщина которых больше заданной, исправляются. Затраты на исправление одной детали – 3 ден.ед.

При обработке на шлифовальном станке возможны дефекты двух видов: некачественная обработка верхней или нижней поверхности. Некачественная обработка верхней поверхности допускается в 3% случаев, нижней – в 6% случаев. Дефект может быть допущен как на одной из поверхностей, так и на обеих. Если имеется дефект только одной поверхности, то он устраняется. Затраты на устранение любого дефекта составляют 2 ден.ед. Если допущены дефекты обеих поверхностей, то они не устраняются, а деталь бракуется.

Готовые детали продаются по 35 ден.ед.

Требуется разработать алгоритм имитации производства деталей на основе метода Монте-Карло и реализовать его в виде программы. Определить: а) вероятность выпуска годной детали; б) среднюю прибыль предприятия от выпуска одной детали; в) определить, является ли выгодной замена токарного станка на новый, если при такой замене качество деталей повысится (толщина детали будет меньше заданной в 2% случаев, больше заданной – в 3% случаев), но затраты на обработку детали на токарном станке будут составлять 6 ден.ед.

Разработаем алгоритм имитации выпуска деталей (для случая, когда используется старый токарный станок). При разработке алгоритма необходимо учитывать, что после обработки на токарном станке деталь может оказаться нормальной (в 80% случаев), иметь толщину меньше заданной (в 8% случаев) или больше заданной (в 12% случаев). Очевидно, что одна и та же деталь не может иметь толщину и больше, и меньше заданной. После обработки на шлифовальном станке деталь может не иметь дефектов, может иметь дефект одной

из поверхностей или дефект обеих поверхностей. Годными являются все детали, при выпуске которых не было допущено никаких дефектов, или эти дефекты были устранены.

Приведем алгоритм имитации производства деталей.

1. Имитируется обработка на токарном станке. Для этого разыгрывается СРРЧ  $R_1$ . Если  $R_1 < 0,08$ , то смоделирован брак (толщина детали оказалась меньше заданной) и выполняется переход к шагу 3. Если  $0,08 \leq R_1 < 0,2$ , то деталь требует исправления (толщина детали оказалась больше заданной). Если  $R_1 \geq 0,2$ , то на токарном станке выпущена деталь нормальной толщины.

2. Имитируется обработка на шлифовальном станке. Для этого разыгрываются два СРРЧ:  $R_{21}$  и  $R_{22}$ . Если  $R_{21} < 0,03$ , то допущен дефект верхней поверхности. Если  $R_{22} < 0,06$ , то допущен дефект нижней поверхности. Таким образом, если  $R_{21} < 0,03$  и  $R_{22} < 0,06$ , то деталь бракуется, так как имеются два дефекта. Если  $R_{21} < 0,03$  или  $R_{22} < 0,06$  (но не то и другое вместе), то имеется только один дефект; он устраняется, и выпускается *годная* деталь. Если  $R_{21} \geq 0,03$  и  $R_{22} \geq 0,06$ , то деталь не имеет дефектов, т.е. является годной.

Шаги 1-2 повторяются многократно, например, 100 000 раз. По окончании испытаний определяется вероятность выпуска годной детали как отношение количества годных деталей к общему количеству деталей (100 000). Определяется также средняя прибыль от выпуска одной детали как отношение суммарной прибыли к общему количеству деталей.

Рассмотрим два испытания алгоритма.

*Первое испытание.* Пусть  $R_1 = 0,0795$ . Так как  $R_1 < 0,08$ , на токарном станке допущен брак: толщина детали оказалась меньше заданной. Деталь не поступает на дальнейшую обработку. Убыток составит  $20 + 5 = 25$  ден.ед., где 20 – стоимость материала, 5 – затраты на обработку на токарном станке.

*Второе испытание.* Пусть  $R_1 = 0,3780$ . Так как  $R_1 \geq 0,2$ , на токарном станке выпущена деталь нормальной толщины. Она поступает на обработку на шлифовальный станок. Разыгрываются СРРЧ  $R_{21}$  и  $R_{22}$ . Пусть  $R_{21} = 0,0593$ ,  $R_{22} = 0,7602$ . Так как  $R_{21} \geq 0,03$  и  $R_{22} \geq 0,06$ , на шлифовальном станке не допущено дефектов. Таким образом, выпущена годная деталь. Прибыль составит  $35 - 20 - 5 - 4 = 6$  ден.ед.

Приведем программу на языке VBA, реализующую алгоритм имитации выпуска деталей.

```
Sub primer23()
```

```
‘ Имитация выпуска деталей, обрабатываемых на двух станках
```

```
n = 100000
```

```
pb11 = 0.08 : pb12 = 0.12
```

```
pb21 = 0.03 : pb22 = 0.06
```

```
material = 20 : obr1 = 5 : obr2 = 4
```

```
zu1 = 3 : zu2 = 2 : cena = 35
```



```

For i = 1 To n
zatr = zatr + material + obr1
r1 = Rnd
If r1 < pb11 Then GoTo kon
If (r1 > pb11) And (r1 < pb11 + pd12) Then zatr = zatr + zu1
zatr = zatr + obr2
r21 = Rnd : r22 = Rnd
If (r21 < pb21) And (r22 < pb22) Then GoTo kon
If (r21 < pd21) Or (r22 < pd22) Then zatr = zatr + zu2
prib = prib + cena
godn = godn + 1
kon: Next i
pgodn = godn / n
prib = prib - zatr
sredprib=prib/n
MsgBox ("Вероятность выпуска годной детали: " +str(round(pgodn,4)))
MsgBox ("Средняя прибыль от выпуска одной детали: "+str(round(sredprib,2)))
End Sub

```

Результаты имитации будут примерно следующими: вероятность выпуска годной детали – примерно 0,9183 (т.е. процент годных деталей – 91,83%), средняя прибыль от выпуска одной деталей - примерно 3,46 ден.ед.

Чтобы определить, выгодна ли замена токарного станка на новый, достаточно заменить в программе для примера 2.3 следующие переменные: pb11=0,02, pb12=0,03, obr1=6. Результаты выполнения программы будут примерно следующими: вероятность выпуска годной детали – примерно 0,9779 (т.е. процент годных деталей – 97,79%), средняя прибыль от выпуска одной детали - около 4,31 ден.ед. Таким образом, замена станка является выгодной, так как она приводит к увеличению прибыли.

**Пример 2.4.** Предприятие выпускает электроприборы, состоящие из трех блоков (А,В,С). Прибор продолжает работать, пока исправен блок А и хотя бы один из блоков В или С. Из опыта эксплуатации приборов известно, что вероятность безотказной работы каждого из *блоков* в течение гарантийного срока составляет 90%.

Затраты предприятия на выпуск одного прибора следующие: стоимость каждого блока – 10 ден.ед., прочие расходы – 20 ден.ед. Приборы продаются по цене 65 ден.ед. В случае отказа прибора до окончания гарантийного срока предприятие бесплатно выполняет его ремонт. Затраты предприятия, связанные с гарантийным ремонтом отказавшего прибора, могут быть различными в зависимости от сложности ремонта, расходов на его доставку и т.д. Известно, что примерно в 60% случаев затраты на гарантийный ремонт составляют 25 ден.ед., в 30% случаев – 40 ден.ед., в 10% случаев – 50 ден.ед.

Требуется найти: а) вероятность отказа прибора до окончания гарантийного срока; б) среднюю прибыль предприятия от выпуска одного прибора; в) определить, выгодно ли для предприятия использовать в конструкции прибора новый, более надежный блок А, стоимость которого составляет 12 ден.ед., а

вероятность безотказной работы в течение гарантийного срока – 98% (при этом повышение цены на приборы не планируется).

Для решения этой задачи разработаем имитационную модель на основе метода Монте-Карло.

Приведем алгоритм имитации выпуска и продажи приборов при использовании имеющейся конструкции прибора (т.е. без замены блока А на новый).

1. Имитируется работа прибора в течение гарантийного срока. Для этого разыгрываются три СРРЧ:  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$ . Если выполняется условие  $R_A < 0,1$  (отказал блок А) или условия  $R_B < 0,1$  и  $R_C < 0,1$  (отказали блоки В и С), то смоделирован отказ прибора; в этом случае выполняется следующий шаг. В противном случае выполняется переход к шагу 3.

2. Имитируется гарантийный ремонт прибора. Для этого разыгрывается СРРЧ  $R_{\text{рем}}$ . Если  $R_{\text{рем}} < 0,6$ , то затраты на ремонт составляют 12 ден.ед., если  $0,6 \leq R_{\text{рем}} < 0,9$ , то затраты составляют 20 ден.ед, если  $R_{\text{рем}} \geq 0,9$ , то 35 ден.ед.

3. Вычисляется прибыль (или убыток) от выпуска прибора с учетом затрат на его изготовление, цены, а также затрат на гарантийный ремонт (если он потребовался).

Шаги 1-3 повторяются многократно, например, 100 000 раз. По окончании испытаний определяется вероятность отказа прибора до окончания гарантийного срока как отношение количества случаев отказов к общему количеству выпущенных приборов (100 000). Определяется также средняя прибыль от выпуска одного прибора как отношение суммарной прибыли к общему количеству приборов.

Рассмотрим два испытания алгоритма.

*Первое испытание.* Пусть  $R_A=0,0795$ ,  $R_B=0,3780$ ,  $R_C=0,0593$ . Так как  $R_A < 0,1$ ,  $R_B \geq 0,1$ ,  $R_C < 0,1$ , смоделирован отказ блока А (а также блока С). Таким образом, прибор отказал до окончания гарантийного срока. Разыгрываются затраты на его ремонт. Пусть  $R_{\text{рем}}=0,7602$ . Так как  $0,6 \leq R_{\text{рем}} < 0,9$ , затраты составляют 40 ден.ед. Таким образом, предприятие понесло *убыток* в размере  $65-30-20-40=-25$  ден.ед. (здесь 65 – цена прибора, 30 – стоимость блоков А,В,С, 20 – прочие расходы на выпуск прибора, 40 – затраты на гарантийный ремонт).

*Второе испытание.* Пусть  $R_A=0,7602$ ,  $R_B=0,2847$ ,  $R_C=0,6133$ . Так как  $R_A \geq 0,1$ ,  $R_B \geq 0,1$ ,  $R_C \geq 0,1$ , смоделирована нормальная работа прибора в течение всего гарантийного срока (ни один из блоков не отказал). Предприятие получает прибыль в размере  $65-30-20=15$  ден.ед.

Приведем программу на языке VBA, реализующую алгоритм имитации выпуска и гарантийного ремонта приборов.

```

Sub primer24()
'Имитация выпуска приборов с учетом гарантийного ремонта
n = 100000
sta = 10: stb = 10: stc = 10: proch = 20: cena = 65
pa = 0.1: pb = 0.1: pc = 0.1
prem1 = 0.6: prem2 = 0.9
zrem1 = 25: zrem2 = 40: zrem3 = 50
For i = 1 To n
sumprib = sumprib - sta - stb - stc - proch + cena
ra = Rnd: rb = Rnd: rc = Rnd
If (ra < pa) Or ((rb < pb) And (rc < pc)) Then
otkaz = otkaz + 1
rrem = Rnd
If rrem < prem1 Then zrem = zrem1
If (rrem >= prem1) And (rrem < prem2) Then zrem = zrem2
If rrem >= prem2 Then zrem = zrem3
sumprib = sumprib - zrem
End If
Next i
potkaz = otkaz / n
sredprib=sumprib/n
MsgBox ("Вероятность отказа до окончания гарантийного срока: " + Str(Round(potkaz,4)))
MsgBox ("Средняя прибыль от выпуска одного прибора: " + Str(Round(sredprib,2)))
End Sub

```

Результаты имитации следующие: вероятность отказа прибора до окончания гарантийного срока – примерно 0,1095 (т.е. около 10,95%), средняя прибыль от выпуска одного прибора – около 11,5 ден.ед.

Чтобы оценить целесообразность использования более надежного (и более дорогого) блока А, достаточно выполнить имитацию снова, изменив в программе следующие переменные: sta=12, pa=0,02. Результаты имитации следующие: вероятность отказа прибора до окончания гарантийного срока – примерно 0,0298, средняя прибыль от выпуска одного прибора – около 12,04 ден.ед. Таким образом, использование нового блока А позволяет повысить прибыль за счет снижения затрат на гарантийные ремонты. Кроме того, резкое снижение количество отказов в течение гарантийного срока благоприятно скажется на репутации предприятия. Поэтому использование нового блока следует признать выгодным.

**Пример 2.5.** Предприятие выпускает датчики четырех типов (А,В,С,Д) для автоматизированных систем управления технологическими процессами. Из опыта работы предприятия известно, что примерно 30% всех заказов составляют заказы на датчики типа А, 20% - В, 15% - С, 35% - Д. Все датчики могут выпускаться в обычном исполнении (для работы в обычных условиях) или в специальном исполнении (для работы при высокой влажности, во взрывоопасной среде или при высокой температуре).

Известно, что примерно в 40% всех заказов требуется датчик для работы при высокой влажности, в 15% заказов - для работы во взрывоопасной среде, в



25% заказов – для работы при высокой температуре. При этом к одному датчику может предъявляться несколько дополнительных требований (например, может быть заказан датчик для работы при высокой влажности и температуре).

Затраты предприятия на выпуск одного датчика в обычном исполнении следующие: датчик типа А – 25 ден.ед., В – 15 ден.ед., С – 35 ден.ед., D – 30 ден.ед. Дополнительные затраты предприятия при выпуске датчика для работы при высокой влажности составляют 8 ден.ед., во взрывоопасной среде – 12 ден.ед., при высокой температуре – 10 ден.ед. (эти затраты не зависят от типа датчика).

Датчики, выпущенные в обычном исполнении, продаются по следующим ценам: А – 45 ден.ед., В – 35 ден.ед., С – 60 ден.ед., D – 50 ден.ед. За каждое дополнительное требование цена датчика повышается на 20% от исходной цены.

Например, если будет заказан датчик типа А для работы при высокой влажности и температуре, то затраты на его выпуск составят  $25+8+10=43$  ден.ед. Он будет продан по цене  $45+0,4\cdot45=63$  ден.ед. (т.е. по цене, повышенной на 40%, так как при выпуске датчика выполнены два дополнительных требования). Прибыль от выпуска такого датчика составит  $63-43=20$  ден.ед.

Требуется разработать алгоритм имитации выпуска датчиков на основе метода Монте-Карло и реализовать его в виде программы. Определить: а) среднюю прибыль предприятия от выпуска одного датчика; б) долю датчиков специального исполнения (т.е. хотя бы с одним дополнительным требованием) в общем объеме заказов.

Приведем алгоритм имитации выпуска датчиков.

1. Имитируется тип датчика. Для этого разыгрывается СРРЧ  $R$ . Если  $R<0,3$ , то заказан датчик типа А, если  $0,3\leq R<0,5$  – датчик типа В, если  $0,5\leq R<0,65$  – датчик типа С, если  $R\geq 0,65$  – датчик типа D.

2. Имитируется исполнение датчика (обычное или специальное). Для этого разыгрываются *три* СРРЧ:  $R_1, R_2, R_3$ . Если  $R_1<0,4$ , то заказан датчик для работы при высокой влажности. Если  $R_2<0,15$ , то заказан датчик для работы во взрывоопасной среде. Если  $R_3<0,25$ , то заказан датчик для работы при высокой температуре. Если  $R_1\geq 0,4, R_2\geq 0,15$  и  $R_3\geq 0,25$  (т.е. выполняются все три условия), то заказан датчик в обычном исполнении.

Шаги 1-2 повторяются 100 000 раз. Определяется средняя прибыль предприятия от выпуска одного датчика: отношение суммарной прибыли от выпуска датчиков к общему количеству выпущенных датчиков (100 000). Определяется также доля датчиков специального исполнения как отношение количества случаев, когда к датчику предъявлялось хотя бы одно дополнительное требование, к общему количеству выпущенных датчиков.

Рассмотрим два испытания алгоритма.

*Первое испытание.* Пусть  $R=0,0795$ . Так как  $R<0,3$ , заказан датчик типа А. Пусть  $R_1=0,3780, R_2=0,0593, R_3=0,7602$ . Так как  $R_1<0,4, R_2<0,15, R_3\geq 0,25$ , заказан датчик для работы при высокой влажности и во взрывоопасной среде. За-

траты на его выпуск составят  $25+8+12=45$  ден.ед. Он будет продан по цене  $45+0,4\cdot45=63$  ден.ед. (т.е. по цене, повышенной на 40%, так как при выпуске датчика выполнены два дополнительных требования). Прибыль от выпуска датчика составит  $63-45=18$  ден.ед.

*Второе испытание.* Пусть  $R=0,2847$ . Так как  $R<0,3$ , заказан датчик типа А. Пусть  $R_1=0,8197$ ,  $R_2=0,6133$ ,  $R_3=0,5766$ . Так как  $R_1\geq0,4$ ,  $R_2\geq0,15$ ,  $R_3\geq0,35$ , заказан датчик в обычном исполнении (т.е. к нему не предъявлено каких-либо дополнительных требований). Затраты на его выпуск составят 25 ден.ед., а цена – 45 ден.ед. Прибыль составит  $45-25=20$  ден.ед.

Приведем программу на языке VBA, реализующую алгоритм имитации выпуска датчиков.

```
sub primer25()
' Имитация выпуска датчиков обычного и специального исполнения
pa = 0.3: pb = 0.2: pc = 0.15: pd = 0.35
pvl = 0.4: pvz = 0.15: pt = 0.25
za = 25 : zb = 15: zc = 35: zd = 30
zvl = 8: zvz = 12: zt = 10
ca = 45: cb = 35: cc = 60: cd = 50
n = 1000
For i = 1 To n
r = Rnd
If r < pa Then sumzatr = sumzatr + za: cena = ca
If (r > pa) And (r < pa + pb) Then sumzatr = sumzatr + zb: cena = cb
If (r > pa + pb) And (r < pa + pb + pc) Then sumzatr = sumzatr + zc: cena = cc
If (r > pa + pb + pc) And (r < pa + pb + pc + pd) Then sumzatr = sumzatr + zd: cena = cd
sumvir = sumvir + cena
r1 = Rnd: r2 = Rnd: r3 = Rnd
If r1 < pvl Then sumzatr = sumzatr + zvl: sumvir = sumvir + 0.2 * cena
If r2 < pvz Then sumzatr = sumzatr + zvz: sumvir = sumvir + 0.2 * cena
If r3 < pt Then sumzatr = sumzatr + zt: sumvir = sumvir + 0.2 * cena
If (r1 < pvl) Or (r2 < pvz) Or (r3 < pt) Then spec = spec + 1
Next i
sumprib = sumvir – sumzatr
sredprib=sumprib/n
procspec = (spec / n) * 100
MsgBox ("Средняя прибыль от выпуска одного датчика: "+str(round(sredprib,2)))
MsgBox ("Процент спец.исполнения: "+str(round(procspec,2)))
End Sub
```

Результаты выполнения этой программы должны быть примерно следующими: средняя прибыль от выпуска одного датчика – 20,7 ден.ед., доля датчиков специального исполнения – 59,2%.