

# ЗАДАЧИ

### § 3. Формула полной вероятности

Вероятность события  $A$ , которое может наступить лишь при появлении одного из несовместных событий (гипотез)  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , образующих полную группу, равна сумме произведений вероятностей каждой из гипотез на соответствующую условную вероятность события  $A$ :

$$P(A) = P(B_1) \cdot P_{B_1}(A) + P(B_2) \cdot P_{B_2}(A) + \dots + P(B_n) \cdot P_{B_n}(A), \quad (*)$$

где  $P(B_1) + P(B_2) + \dots + P(B_n) = 1$ .

Равенство (\*) называют *формулой полной вероятности*.

89. В урну, содержащую два шара, опущен белый шар, после чего из нее наудачу извлечен один шар. Найти вероятность того, что извлеченный шар окажется белым, если равновозможны все возможные предположения о первоначальном составе шаров (по цвету).

**Решение.** Обозначим через  $A$  событие — извлечен белый шар. Возможны следующие предположения (гипотезы) о первоначальном составе шаров:  $B_1$  — белых шаров нет,  $B_2$  — один белый шар,  $B_3$  — два белых шара.

Поскольку всего имеется три гипотезы, причем по условию они равновероятны, и сумма вероятностей гипотез равна единице (так как они образуют полную группу событий), то вероятность каждой из гипотез равна  $1/3$ , т. е.  $P(B_1) = P(B_2) = P(B_3) = 1/3$ .

Условная вероятность того, что будет извлечен белый шар, при условии, что первоначально в урне не было белых шаров,  $P_{B_1}(A) = 1/3$ .

Условная вероятность того, что будет извлечен белый шар, при условии, что первоначально в урне был один белый шар,  $P_{B_2}(A) = 2/3$ .

Условная вероятность того, что будет извлечен белый шар, при условии, что первоначально в урне было два белых шара  $P_{B_3}(A) = 3/3 = 1$ .

Искомую вероятность того, что будет извлечен белый шар, находим по формуле полной вероятности:

$$P(A) = P(B_1) \cdot P_{B_1}(A) + P(B_2) \cdot P_{B_2}(A) + \\ + P(B_3) \cdot P_{B_3}(A) = 1/3 \cdot 1/3 + 1/3 \cdot 2/3 + 1/3 \cdot 1 = 2/3.$$

## § 4. Формула Байеса

Пусть событие  $A$  может наступить лишь при условии появления одного из несовместных событий (гипотез)  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , которые образуют полную группу событий. Если событие  $A$  уже произошло, то вероятности гипотез могут быть переоценены по формулам Байеса

$$P_A(B_i) = \frac{P(B_i) \cdot P_{B_i}(A)}{P(A)} \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

32

---

где

$$P(A) = P(B_1) \cdot P_{B_1}(A) + P(B_2) \cdot P_{B_2}(A) + \dots + P(B_n) \cdot P_{B_n}(A).$$

97. Два автомата производят одинаковые детали, которые поступают на общий конвейер. Производительность первого автомата вдвое больше производительности второго. Первый автомат производит в среднем 60% деталей отличного качества, а второй — 84%. Наудачу взятая с конвейера деталь оказалась отличного качества. Найти вероятность того, что эта деталь произведена первым автоматом.

**Решение.** Обозначим через  $A$  событие — деталь отличного качества. Можно сделать два предположения (гипотезы):  $B_1$  — деталь произведена первым автоматом, причем (поскольку первый автомат производит вдвое больше деталей, чем второй)  $P(B_1) = 2/3$ ;  $B_2$  — деталь произведена вторым автоматом, причем  $P(B_2) = 1/3$ .

Условная вероятность того, что деталь будет отличного качества, если она произведена первым автоматом,  $P_{B_1}(A) = 0,6$ .

Условная вероятность того, что деталь будет отличного качества, если она произведена вторым автоматом,  $P_{B_2}(A) = 0,84$ .

Вероятность того, что наудачу взятая деталь окажется отличного качества, по формуле полной вероятности равна

$$P(A) = P(B_1) \cdot P_{B_1}(A) + P(B_2) \cdot P_{B_2}(A) = 2/3 \cdot 0,6 + 1/3 \cdot 0,84 = 0,68.$$

Искомая вероятность того, что взятая отличная деталь произведена первым автоматом, по формуле Байеса равна

$$P_A(B_1) = \frac{P(B_1) \cdot P_{B_1}(A)}{P(A)} = \frac{2/3 \cdot 0,6}{0,68} = \frac{10}{17}.$$

## § 1. Формула Бернулли

Если производятся испытания, при которых вероятность появления события  $A$  в каждом испытании не зависит от исходов других испытаний, то такие испытания называют *независимыми относительно события  $A$* . В § 1—4 этой главы рассматриваются независимые испытания, в каждом из которых вероятность появления события одинакова.

**Формула Бернулли.** Вероятность того, что в  $n$  независимых испытаниях, в каждом из которых вероятность появления события равна  $p$  ( $0 < p < 1$ ), событие наступит ровно  $k$  раз (безразлично, в какой последовательности), равна

$$P_n(k) = C_n^k p^k q^{n-k},$$

или

$$P_n(k) = \frac{n!}{k! (n-k)!} p^k q^{n-k},$$

где  $q = 1 - p$ .

Вероятность того, что в  $n$  испытаниях событие наступит: а) менее  $k$  раз; б) более  $k$  раз; в) не менее  $k$  раз; г) не более  $k$  раз, — находят соответственно по формулам:

$$\begin{aligned} & P_n(0) + P_n(1) + \dots + P_n(k-1); \\ & P_n(k+1) + P_n(k+2) + \dots + P_n(n); \\ & P_n(k) + P_n(k+1) + \dots + P_n(n); \\ & P_n(0) + P_n(1) + \dots + P_n(k). \end{aligned}$$

110. Два равносильных шахматиста играют в шахматы. Что вероятнее: выиграть две партии из четырех

37

---

или три партии из шести (ничьи во внимание не принимаются)?

**Решение.** Играют равносильные шахматисты, поэтому вероятность выигрыша  $p = 1/2$ ; следовательно, вероятность проигрыша  $q$  также равна  $1/2$ . Так как во всех партиях вероятность выигрыша постоянна и безразлично, в какой последовательности будут выиграны партии, то применима формула Бернулли.

Найдем вероятность того, что две партии из четырех будут выиграны:

$$P_4(2) = C_4^2 p^2 q^2 = 4 \cdot 3 / (1 \cdot 2) \cdot (1/2)^2 \cdot (1/2)^2 = 6/16.$$

Найдем вероятность того, что будут выиграны три партии из шести:

$$P_6(3) = C_6^3 p^3 q^3 = 6 \cdot 5 \cdot 4 / (1 \cdot 2 \cdot 3) \cdot (1/2)^3 \cdot (1/2)^3 = 5/16.$$

Так как  $P_4(2) > P_6(3)$ , то вероятнее выиграть две партии из четырех, чем три из шести.

166. Устройство состоит из трех независимо работающих элементов. Вероятность отказа каждого элемента в одном опыте равна 0,1. Составить закон распределения числа отказавших элементов в одном опыте.

53

**Решение.** Дискретная случайная величина  $X$  (число отказавших элементов в одном опыте) имеет следующие возможные значения:  $x_1=0$  (ни один из элементов устройства не отказал),  $x_2=1$  (отказал один элемент),  $x_3=2$  (отказали два элемента) и  $x_4=3$  (отказали три элемента).

Отказы элементов независимы один от другого, вероятности отказа каждого элемента равны между собой, поэтому применима формула Бернулли. Учитывая, что, по условию,  $n=3$ ,  $p=0,1$  (следовательно,  $q=1-0,1=0,9$ ), получим:

$$P_3(0) = q^3 = 0,9^3 = 0,729; \quad P_3(1) = C_3^1 p q^2 = 3 \cdot 0,1 \cdot 0,9^2 = 0,243;$$

$$P_3(2) = C_3^2 p^2 q = 3 \cdot 0,1^2 \cdot 0,9 = 0,027; \quad P_3(3) = p^3 = 0,1^3 = 0,001.$$

$$\text{Контроль: } 0,729 + 0,243 + 0,027 + 0,001 = 1.$$

Напишем искомый биномиальный закон распределения  $X$ :

$X$	0	1	2	3
$p$	0,729	0,243	0,027	0,001



188. Найти математическое ожидание дискретной случайной величины  $X$ , заданной законом распределения:

$$\begin{array}{l} \text{а) } X \begin{array}{ccc} -4 & 6 & 10 \\ p \begin{array}{ccc} 0,2 & 0,3 & 0,5 \end{array} \end{array} ; \quad \text{б) } X \begin{array}{ccc} 0,21 & 0,54 & 0,61 \\ p \begin{array}{ccc} 0,1 & 0,5 & 0,4 \end{array} \end{array} . \end{array}$$

**Решение.** а) Математическое ожидание равно сумме произведений всех возможных значений  $X$  на их вероятности:

$$M(X) = -4 \cdot 0,2 + 6 \cdot 0,3 + 10 \cdot 0,5 = 6.$$

**210.** Найти дисперсию и среднее квадратическое отклонение дискретной случайной величины  $X$ , заданной законом распределения:

$X$	-5	2	3	4
$p$	0,4	0,3	0,1	0,2

**Решение.** Дисперсию можно вычислить исходя из ее определения, однако мы воспользуемся формулой

$$D(X) = M(X^2) - [M(X)]^2,$$

которая быстрее ведет к цели.

Найдем математическое ожидание  $X$ :

$$M(X) = -5 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 = -0,3.$$

Напишем закон распределения  $X^2$ :

$X^2$	25	4	9	16
$p$	0,4	0,3	0,1	0,2

Найдем математическое ожидание  $X^2$ :

$$M(X^2) = 25 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,3 + 9 \cdot 0,1 + 16 \cdot 0,2 = 15,3.$$

Найдем искомую дисперсию:

$$D(X) = M(X^2) - [M(X)]^2 = 15,3 - (-0,3)^2 = 15,21.$$

Найдем искомое среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)} = \sqrt{15,21} = 3,9.$$

**Пример 1.3:** В детском саду измерили массу тела 10 детей 5 лет. Полученные данные образуют простой статистический ряд: 24 22 23 28 24 23 25 27 25 25. Ранжированный ряд имеет вид: 22 23 23 24 24 25 25 25 27 28. Подсчитав частоты каждого значения, можно построить безинтервальный вариационный ряд:

X	22	23	24	25	27	28
m	1	2	2	3	1	1

**Пример 7.** В партии из 10 деталей 7 стандартных. Найти вероятность того, что среди 6 взятых наудачу деталей 4 стандартных.

*Решение.* Общее число возможных элементарных исходов равно числу способов, которыми можно извлечь 6 деталей из 10, т.е. числу сочетаний из 10 по 6:

$$n = C_{10}^6 = \frac{10!}{6!4!} = \frac{7 \cdot 8 \cdot 9 \cdot 10}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} = 210.$$

Определим число исходов, благоприятствующих событию. Четыре стандартные детали можно взять из семи стандартных  $C_7^4$  способами,

при этом остальные две детали должны быть нестандартными. Две нестандартные детали можно взять из трех нестандартных  $C_3^2$  способами. Следовательно, по правилу произведения, число благоприятных исходов равно  $m = C_7^4 \cdot C_3^2 = \frac{7!3!}{4!3!2!} = 105$ . Искомая вероятность будет равна

$$P = \frac{105}{210} = 0,5.$$

**Пример.** В круг вписан правильный треугольник. В круге наугад ставят точку. Какова вероятность, что она попадет в треугольник?

*Решение.* Событие  $A$ : точка, поставленная наугад в круг, попадает в треугольник. Пусть радиус круга равен  $R$ . Тогда площадь круга равна  $S_{\text{круга}} = \pi R^2$ , площадь правильного треугольника, вписанного в

этот круг, равна  $S_{\Delta} = \frac{3R^2\sqrt{3}}{4}$ . Тогда по определению геометрической ве-

роятности имеем  $P(A) = \frac{S_{\Delta}}{S_{\text{круга}}} = \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}$ .

**Пример 1.** В ящике 5 белых и 10 черных шаров. Из ящика последовательно вынимают 2 шара; первый шар в ящик не возвращают. Найти вероятность того, что первый вынутый шар окажется белым, а второй – черным.

*Решение.* Пусть событие  $A$  – вынут первым белый шар, событие  $B$  – вторым вынут черный шар. Из следствия имеем:

$$P(A \cdot B) = P(A) \cdot P_A(B) = \frac{5}{15} \cdot \frac{10}{14} = \frac{5}{21} \approx 0,238.$$

**Пример 2.** В урне лежат 3 белых, 3 черных, 3 желтых шара. Найти вероятность события  $A$  – три вынутых шара будут одного цвета.

*Решение.*  $A = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3$ ,  $A_i$  – вынули  $i$  – шар.

$$P(A) = P(A_1) \cdot P_{A_1}(A_2) \cdot P_{A_1 A_2}(A_3) = 3 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{8} \cdot \frac{1}{7} = \frac{1}{28}.$$