

## Информация о минимуме

1. Минимум включает базовые задачи по теории вероятностей и статистике, для решения которых достаточно применить некоторый типичный алгоритм.
2. Каждая контрольная работа и экзамен состоят из основной части и минимума. В минимум входят задачи, схожие с теми, что представлены далее. За полностью верное решение этих задач можно получить до 5 баллов из 10.
3. Задачи решаются в тестовой форме: необходимо выбрать единственный верный вариант из нескольких доступных.
4. Минимум включает как простые задачи, так и задачи повышенной сложности. За правильное решение всех простых задач выставляется 4 балла, а за решение сложной – 1 балл.
5. Задачи повышенной сложности отмечаются пометкой (**доп.**) в конце условия. Эти задачи в контрольной работе могут в заметно большей степени отличаться от своих аналогов в данном файле.
6. Оценка за минимум не нормируется.

## Минимум 2

1. Функция распределения случайной величины  $X$  имеет следующий вид:

$$F_X(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq 5 \\ \frac{(x-5)^2}{25}, & \text{если } x \in (5, \alpha) \\ 1, & \text{если } x \geq \alpha \end{cases}$$

- а) Найдите параметр  $\alpha$  (при решении дальнейших пунктов пользуйтесь найденным значением).
- б) Рассчитайте  $P(X \leq 6.5)$ .
- в) Вычислите  $P(X \geq 7)$ .
- г) Найдите  $P(6 \leq X \leq 7)$ .
- д) Посчитайте  $P(2 \leq X \leq 7)$ .
- е) Определите, чему равняется  $P(6 \leq X \leq 8 | 2 \leq X \leq 7)$ .
- ж) Выпишите функцию плотности случайной величины  $X$  и найдите ее значение в точке 8.
- з) Выпишите функцию распределения случайной величины  $X^2$  на носителе  $\text{supp}(X^2)$  и вычислите  $F_{X^2}(64)$ . **(доп.)**
- и) Выпишите функцию плотности случайной величины  $X^2$  и вычислите  $f_{X^2}(64)$ . **(доп.)**
- к) Найдите медиану  $X$ .
- л) Вычислите квантиль уровня 0.8 для  $X$ .

**Решение:**

- а) Поскольку по свойствам функции распределения  $F_X(\alpha) = 1$  и  $\alpha > 5$ , то:

$$\frac{(\alpha - 5)^2}{25} = 1 \implies \alpha = 10$$

- б) Пользуясь определением функции распределения получаем:

$$P(X \leq 6.5) = F_X(6.5) = \frac{(6.5 - 5)^2}{25} = 0.09$$

- в) Применяя формулу вероятности обратного события имеем:

$$P(X \geq 7) = 1 - P(X \leq 7) = 1 - F_X(7) = 1 - \frac{(7 - 5)^2}{25} = 0.84$$

- г) По свойствам функции распределения получаем:

$$P(6 \leq X \leq 7) = F_X(7) - F_X(6) = \frac{(7 - 5)^2}{25} - \frac{(6 - 5)^2}{25} = 0.12$$

- д) По аналогии с предыдущим пунктом имеем:

$$P(2 \leq X \leq 7) = F_X(7) - F_X(2) = \frac{(7 - 5)^2}{25} - 0 = 0.16$$

е) Пользуясь формулой условной вероятности получаем:

$$\begin{aligned} P(6 \leq X \leq 8 | 2 \leq X \leq 7) &= \frac{P(6 \leq X \leq 8 \cap 2 \leq X \leq 7)}{P(2 \leq X \leq 7)} = \\ &= \frac{P(6 \leq X \leq 7)}{P(2 \leq X \leq 7)} = \frac{F_X(7) - F_X(6)}{F_X(7) - F_X(2)} = \frac{\frac{(7-5)^2}{25} - \frac{(6-5)^2}{25}}{\frac{(7-5)^2}{25} - 0} = 0.75 \end{aligned}$$

ж) По определению функции плотности имеем:

$$f_X(x) = \frac{dF_X(x)}{dx} = \begin{cases} \frac{d0}{dx}, & \text{если } x \leq 5 \\ \frac{d\frac{(x-5)^2}{25}}{dx}, & \text{если } x \in (5, 10) \\ \frac{d1}{dx}, & \text{если } x \geq 10 \end{cases} = \begin{cases} 0, & \text{если } x \notin [5, 10] \\ \frac{2(x-5)}{25}, & \text{если } x \in [5, 10] \end{cases}$$

Отсюда получаем, что:

$$f_X(8) = \frac{2 \times (8 - 5)}{25} = 0.24$$

з) Запишем функцию распределения функции от случайной величины через функцию распределения исходной случайной величины, учитывая, что функция  $x^2$ , заданная на  $\text{supp}(X) = (5, 10)$ , имеет обратную. Кроме того, носитель  $X^2$  будет иметь вид  $\text{supp}(X^2) = (5^2, 10^2) = (25, 100)$ . Следовательно, при  $x \in (25, 100)$  получаем:

$$F_{X^2}(x) = P(X^2 \leq x) = P(X \leq \sqrt{x}) = F_X(\sqrt{x}) = \frac{(\sqrt{x} - 5)^2}{25}$$

Пользуясь полученным результатом рассчитаем искомую вероятность:

$$F_{X^2}(50) = \frac{(\sqrt{50} - 5)^2}{25} = 0.36$$

и) Функция плотности при  $x \in \text{supp}(X^2) = (25, 100)$  будет иметь вид:

$$\frac{dF_{X^2}(x)}{dx} = \frac{d\frac{(\sqrt{x}-5)^2}{25}}{dx} = \frac{\sqrt{x} - 5}{25\sqrt{x}}$$

По определению носителя во всех остальных точках функция плотности случайной величины  $X^2$  будет равняться нулю, а значит:

$$f_{X^2}(x) = \begin{cases} \frac{\sqrt{x}-5}{25\sqrt{x}}, & \text{если } x \in (25, 100) \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Применяя найденную функцию плотности получаем:

$$f_{X^2}(64) = \frac{\sqrt{64} - 5}{25 \times \sqrt{64}} = 0.015$$

к) Поскольку медиана является квантилью уровня 0.5, то:

$$\frac{(x_{0.5} - 5)^2}{25} = 0.5 \implies x_{0.5} \approx 8.536$$

л) По аналогии с предыдущим пунктом получаем:

$$\frac{(x_{0.8} - 5)^2}{25} = 0.8 \Rightarrow x_{0.8} \approx 9.472$$

2. Функция плотности случайной величины  $X$  имеет следующий вид:

$$f_X(x) = \begin{cases} \alpha(x-3)^2, & \text{если } x \in [2, 5] \\ 0, & \text{если } x \notin (2, 5) \end{cases}$$

- а) Найдите параметр  $\alpha$  (при решении дальнейших пунктов пользуйтесь найденным значением).
- б) Рассчитайте  $P(X \leq 3.5)$ .
- в) Вычислите  $P(X > 3)$ .
- г) Найдите  $P(3 \leq X \leq 4)$ .
- д) Посчитайте  $P(1 \leq X < 3.5)$ .
- е) Определите, чему равняется  $P(2.5 \leq X \leq 4 | X > 3.5)$ .
- ж) Найдите  $E(2X + 1.5)$ .
- з) Вычислите  $Var(100X + 8)$ .
- и) Посчитайте третий начальный момент.
- к) Рассчитайте  $E\left(e^{\frac{1}{9}(x-3)^3}\right)$ . (доп.)
- л) Запишите функцию распределения случайной величины  $X$ .
- м) Найдите  $E(X | X < 3.5)$ . (доп.)
- н) Укажите моду  $X$ .

**Решение:**

а) По свойствам функции плотности получаем, что:

$$\int_2^5 \alpha(x-3)^2 dx = 1 \Rightarrow 3\alpha = 1 \Rightarrow \alpha = \frac{1}{3}$$

б) Пользуясь формулой расчета вероятностей с помощью функции плотности получаем:

$$P(X \leq 3.5) = \int_2^{3.5} \frac{(x-3)^2}{3} dx = 0.125$$

в) По аналогии с предыдущим пунктом:

$$P(X > 3) = \int_3^5 \frac{(x-3)^2}{3} dx = \frac{8}{9} \approx 0.889$$

г) Также, как и в предыдущих пунктах, получаем:

$$P(3 \leq X \leq 4) = \int_3^4 \frac{(x-3)^2}{3} dx = \frac{1}{9} \approx 0.111$$

д) Обращая внимание на носитель  $X$  получаем:

$$P(1 \leq X \leq 3.5) = P(2 \leq X \leq 3.5) = \int_2^{3.5} \frac{(x-3)^2}{3} dx = 0.125$$

е) По формуле условной вероятности получаем:

$$\begin{aligned} P(2.5 \leq X \leq 4 | X > 3.5) &= \frac{P(2.5 \leq X \leq 4 \cap X > 3.5)}{P(X > 3.5)} = \\ &= \frac{P(3.5 < X \leq 4)}{P(X > 3.5)} = \frac{\int_{3.5}^4 \frac{(x-3)^2}{3} dx}{\int_{3.5}^5 \frac{(x-3)^2}{3} dx} \approx \frac{0.09722}{0.875} \approx 0.111 \end{aligned}$$

ж) Сперва вычислим математическое ожидание:

$$E(X) = \int_2^5 x \frac{(x-3)^2}{3} dx = 4.25$$

Отсюда получаем, что по свойствам математического ожидания:

$$E(2X + 1.5) = 2 \times 4.25 + 1.5 = 10$$

з) Для начала найдем второй начальный момент:

$$E(X^2) = \int_2^5 x^2 \frac{(x-3)^2}{3} dx = 18.7$$

Подставляя полученный результат в формулу дисперсии имеем:

$$Var(X) = E(X^2) - E(X)^2 = 18.7 - 4.25^2 = 0.6375$$

Наконец, применяя свойства дисперсии получаем:

$$Var(100X + 8) = 100^2 Var(X) = 10000 \times 0.6375 = 6375$$

и) По определению третьего начального момента получаем:

$$E(X^3) = \int_2^5 x^3 \frac{(x-3)^2}{3} dx = 84.05$$

к) По формуле математического ожидания функции от случайной величины получаем:

$$\begin{aligned} E\left(e^{\frac{1}{9}(x-3)^3}\right) &= \int_2^5 e^{\frac{1}{9}(x-3)^3} \frac{(x-3)^2}{3} dx = \\ &= \int_{\frac{1}{9}(2-3)^3}^{\frac{1}{9}(5-3)^3} e^{\frac{1}{9}(x-3)^3} d\left(\frac{1}{9}(x-3)^3\right) = \int_{-1/9}^{8/9} e^t dt \approx 1.538 \end{aligned}$$

л) По свойствам функции плотности получаем, что при  $x \in (2, 5)$ :

$$F_X(x) = \int_2^x \frac{(t-3)^2}{3} dt = \frac{(x^3 - 9x^2 + 27x - 26)}{9}$$

Отсюда следует, что:

$$F_X(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq 2 \\ \frac{(x^3 - 9x^2 + 27x - 26)}{9}, & \text{если } x \in (2, 5) \\ 1, & \text{если } x \geq 5 \end{cases}$$

м) Сперва найдем функцию распределения усеченного распределения:

$$\begin{aligned} F_{X|X < 3.5}(x) &= \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq 2 \\ \frac{(x^3 - 9x^2 + 27x - 26)}{9} / \frac{(3.5^3 - 9 \times (3.5^2) + 27 \times 3.5 - 26)}{9}, & \text{если } x \in (2, 3.5) \\ 1, & \text{если } x \geq 3.5 \end{cases} = \\ &= \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq 2 \\ \frac{8(x^3 - 9x^2 + 27x - 26)}{9}, & \text{если } x \in (2, 3.5) \\ 1, & \text{если } x < 3.5 \end{cases} \end{aligned}$$

Дифференцируя найденную функцию получаем:

$$f_{X|X < 3.5}(x) = \begin{cases} \frac{8(x-3)^2}{3}, & \text{если } x \in (2, 3.5) \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Наконец, пользуясь найденной функцией плотности посчитаем искомое математическое ожидание:

$$E(X|X < 3.5) = \int_2^{3.5} x \frac{8(x-3)^2}{3} dx = 2.375$$

н) В данном случае функция плотности достигает максимума в двух точках, поэтому моды также будет две, а именно, значения 2 и 5.

3. Случайная величина  $X$  имеет равномерное распределение  $U(a, b)$ . Про эту случайную величину известно, что  $E(X) = 2$  и  $F_X(1.5) = 0.25$ .

- а) Найдите параметры распределения  $X$  (используйте найденные параметры при решении дальнейших пунктов).
- б) Запишите носитель  $X$ .
- в) Определите, чему равняется  $\text{Var}(3X-10)$ .
- г) Вычислите  $E\left(\frac{2}{X}\right)$ .
- д) Рассчитайте вероятность  $P(X > 2 | X < 2.5)$ .
- е) Посчитайте  $E(X | \frac{1}{X} < 0.5)$ . **(доп.)**
- ж) Найдите квантиль уровня 0.6 случайной величины  $X$ .

з) Посчитайте квантиль уровня 0.4 случайной величины  $e^{-X}$ .

**Решение:**

а) Используя приведенную в условии информацию составим систему, из решения которой получим искомые параметры:

$$\begin{cases} \frac{a+b}{2} = 2 \\ \frac{1.5-a}{b-a} = 0.25 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a+b = 4 \\ 6-4a = b-a \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = 1 \\ b = 3 \end{cases}$$

б) Носитель имеет вид  $\text{supp}(X) = (1, 3)$ .

в) По формуле дисперсии равномерного распределения получаем:

$$\text{Var}(X) = \frac{(3-1)^2}{12} = \frac{1}{3}$$

Отсюда, по свойствам дисперсии имеем:

$$\text{Var}(3X - 10) = 9\text{Var}(X) = 9 \times \frac{1}{3} = 3$$

г) Пользуясь формулой математического ожидания функции от случайной величины получаем:

$$E\left(\frac{2}{X}\right) = \int_1^3 \frac{2}{x} \times \frac{1}{3-1} dx = \ln(3) \approx 1.0986$$

д) По формуле условной вероятности имеем:

$$\begin{aligned} P(X > 2 | X < 2.5) &= \frac{P(X > 2 \cap X < 2.5)}{P(X < 2.5)} = \frac{P(2 < X < 2.5)}{P(X < 2.5)} = \\ &= \frac{F_X(2.5) - F_X(2)}{F_X(2.5)} = \frac{\frac{2.5-1}{3-1} - \frac{2-1}{3-1}}{\frac{2.5-1}{3-1}} = \frac{1}{3} \end{aligned}$$

е) Используя условную функцию плотности нетрудно показать, что:

$$E\left(X \mid \frac{1}{X} < 0.5\right) = E(X | X > 2) = \int_2^3 x \frac{\frac{1}{3-1}}{1 - \frac{2-1}{3-1}} dx = 2.5$$

ж) Найдем соответствующую квантиль, пользуясь функцией распределения:

$$F_X(x_{0.6}) = \frac{x_{0.6} - 1}{3 - 1} = 0.6 \Rightarrow x_{0.6} = 2.2$$

з) Поскольку функция  $e^{-x}$  строго убывает на носителе случайной величины  $X$ , то есть при  $x \in (1, 3)$ , то квантиль уровня 0.4 случайной величины  $e^{-X}$  будет равняться соответствующей функции от квантили уровня  $1 - 0.4 = 0.6$  случайной величины  $X$ , то есть  $e^{-x_{0.6}} = e^{-2.2}$ .

4. Случайная величина  $X$  имеет экспоненциальное распределение с медианой, равной  $\ln(\sqrt{2})$ .

- а) Найдите параметры распределения  $X$  (используйте найденные параметры при решении дальнейших пунктов).
- б) Запишите носитель  $X$ .
- в) Посчитайте  $E(8X + 6)$
- г) Определите, чему равняется  $Var(2X - E(X))$ .
- д) Вычислите  $E(e^X)$ .
- е) Рассчитайте  $P(X \in [1, 3])$ .
- ж) Рассчитайте вероятность  $P(X < 2 | X \in [1, 3])$ .
- з) Посчитайте  $E(e^X | X \in [1, 3])$ . (доп.)
- и) Найдите квантиль уровня 0.6 случайной величины  $X$ .
- к) Посчитайте квантиль уровня 0.6 случайной величины  $\ln(X)$ .

**Решение:**

- а) По определению медианы  $F_X(\ln(\sqrt{2})) = 0.5$ , а значит:

$$1 - e^{-\ln(\sqrt{2})\lambda} = 0.5 \Rightarrow e^{-\ln(\sqrt{2})\lambda} = 0.5 \Rightarrow \\ \Rightarrow -0.5 \ln(2)\lambda = \ln(0.5) \Rightarrow 0.5 \ln(2)\lambda = -\ln(0.5) = \ln(2) \Rightarrow \lambda = 2$$

- б) Носитель имеет вид  $\text{supp}(X) = (0, \infty)$ .
- в) Используя формулу математического ожидания экспоненциальной случайной величины имеем:

$$E(X) = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{2} = 0.5$$

Отсюда получаем, что:

$$E(8X + 6) = 8 \times 0.5 + 6 = 10$$

- г) По формуле дисперсии экспоненциального распределения получаем:

$$Var(X) = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4} = 0.25$$

Далее, по свойствам дисперсии имеем:

$$Var(2X - E(X)) = 4Var(X) = 4 \times 0.25 = 1$$

- д) Пользуясь формулой математического ожидания функции от случайной величины получаем:

$$E(e^X) = \int_0^{\infty} e^x \times 2e^{-2x} dx = \int_0^{\infty} 2e^{-x} dx = 2$$

- е) Используя функцию распределения экспоненциального распределения получаем:

$$P(X \in [1, 3]) = F_X(3) - F_X(1) = (1 - e^{-2 \times 3}) - (1 - e^{-2 \times 1}) \approx 0.13286$$



ж) По формуле условной вероятности имеем:

$$\begin{aligned} P(X < 2 | X \in [1, 3]) &= \frac{P(X \in [1, 2])}{P(X \in [1, 3])} = \frac{F_X(2) - F_X(1)}{F_X(3) - F_X(1)} = \\ &= \frac{(1 - e^{-2 \times 2}) - (1 - e^{-2 \times 1})}{(1 - e^{-2 \times 3}) - (1 - e^{-2 \times 1})} \approx 0.88 \end{aligned}$$

з) Используя условную функцию плотности получаем:

$$E(e^X | X \in [1, 3]) = \int_1^3 e^x \frac{2e^{-2x}}{(1 - e^{-2 \times 3}) - (1 - e^{-2 \times 1})} dx \approx \int_1^3 15.05e^{-x} dx \approx 4.7885$$

и) Найдем соответствующую квантиль, пользуясь функцией распределения:

$$F_X(x_{0.6}) = 1 - e^{-2x_{0.6}} = 0.6 \implies x_{0.6} = 0.458$$

к) Поскольку функция  $\ln(x)$  строго возрастает на носителе случайной величины  $X$ , то есть при  $x \in (0, \infty)$ , то квантиль уровня 0.6 случайной величины  $e^{-X}$  будет равняться соответствующей функции от квантили уровня 0.6 случайной величины  $X$ , то есть  $\ln(x_{0.6}) = \ln(0.458) \approx -0.781$ .

5. Случайная величина  $X$  имеет нормальное распределение с математическим ожиданием 2 и вторым начальным моментом, равным 29.

- Найдите параметры распределения  $X$  (используйте найденные параметры при решении дальнейших пунктов).
- Запишите носитель  $X$ .
- Посчитайте  $E(\text{Var}(2X + 5)X + 10)$ .
- Определите, чему равняется  $P(X < 1.5)$ .
- Рассчитайте вероятность  $P(X \in [1, 2] | X < 1.5)$ .
- Вычислите, чему равняется  $P(X < 1.8 \cup X \in [1, 2])$ .
- Найдите квантиль уровня 0.6 случайной величины  $X$ .
- Посчитайте  $P(2X + 5 > 7)$ .
- Случайная величина  $Y \sim \mathcal{N}(-1, 16)$  не зависит от  $X$ . Посчитайте следующую вероятность  $P(5X + 2 - 3Y \leq 20)$ .

**Решение:**

- Поскольку  $E(X) = 2$  и  $E(X^2) = 29$ , то  $\text{Var}(X) = 29 - 2^2 = 25$ , откуда  $\mu = 2$  и  $\sigma^2 = 25$ .
- Носитель совпадает с вещественной прямой, то есть  $\text{supp}(X) = (-\infty, \infty) = \mathbb{R}$ .
- Пользуясь свойствами математического ожидания и дисперсии получаем:

$$E(\text{Var}(2X + 5)X + 10) = 4\text{Var}(X) \times E(X) + 10 = 4 \times 25 \times 2 + 10 = 210$$

г) Пользуясь таблице стандартного нормального распределения находим:

$$P(X < 1.5) = F_X(1.5) = \Phi\left(\frac{1.5 - 2}{\sqrt{25}}\right) = \Phi(-0.1) = 1 - \Phi(0.1) \approx 0.46$$

д) По формуле условной вероятности имеем:

$$\begin{aligned} P(X \in [1, 2] | X < 1.5) &= \frac{P(X \in [1, 1.5])}{P(X < 1.5)} = \frac{F_X(1.5) - F_X(1)}{F_X(1.5)} = \\ &= \frac{\Phi\left(\frac{1.5-2}{\sqrt{25}}\right) - \Phi\left(\frac{1-2}{\sqrt{25}}\right)}{\Phi\left(\frac{1.5-2}{\sqrt{25}}\right)} = \frac{\Phi(-0.1) - \Phi(-0.2)}{\Phi(-0.1)} \approx 0.085689 \end{aligned}$$

е) Можно либо воспользоваться формулой вероятности объединения событий, либо предварительно объединить оба события (воспользуемся вторым способом):

$$P(X < 1.8 \cup X \in [1, 2]) = P(X < 2) = \Phi\left(\frac{2-2}{\sqrt{25}}\right) = 0.5$$

ж) Обратим внимание, что:

$$P(X \leq x_{0.6}) = 0.6$$

Отсюда получаем, что:

$$P(X \leq x_{0.6}) = \Phi\left(\frac{x_{0.6} - 2}{5}\right) = 0.6 \Rightarrow \frac{x_{0.6} - 2}{5} \approx 0.253$$

з) Обратим внимание, что:

$$\begin{aligned} E(2X + 5) &= 2E(X) + 5 = 2 \times 2 + 5 = 9 \\ \text{Var}(2X + 5) &= 4\text{Var}(X) = 4 \times 25 = 100 \end{aligned}$$

Отсюда следует, что:

$$2X + 5 \sim \mathcal{N}(9, 100)$$

В результате получаем:

$$P(2X + 5 > 7) = 1 - P(2X + 5 \leq 7) = 1 - \Phi\left(\frac{7-9}{\sqrt{100}}\right) \approx 0.579$$

В качестве альтернативы задачу можно решать следующим образом:

$$P(2X + 5 > 7) = P(2X > 2) = P(X > 1) = 1 - \Phi\left(\frac{1-2}{\sqrt{25}}\right) \approx 0.579$$

и) Сперва найдем распределение рассматриваемой линейной комбинации нормальных случайных величин, учитывая, что в силу независимости ковариация между ними окажется нулевой:

$$\begin{aligned} E(5X + 2 - 3Y) &= 5 \times 2 + 10 - (3 \times -1) = 15 \\ \text{Var}(5X + 2 - 3Y) &= 25\text{Var}(X) + 9\text{Var}(Y) = 25 \times 25 + 9 \times 16 = 769 \end{aligned}$$

По свойствам линейной комбинации нормальных случайных величин получаем:

$$5X + 2 - 3Y \sim \mathcal{N}(15, 769)$$

Пользуясь найденным распределением получаем:

$$P(5X + 2 - 3Y \leq 20) = \Phi\left(\frac{20-15}{\sqrt{769}}\right) \approx 0.428$$

6. Математическое ожидание непрерывной случайной величины  $X$  с неотрицательным носителем равняется 1. При помощи неравенства Маркова определите:

- а) Верхнюю границу для вероятности  $P(X > 2)$ .
- б) Нижнюю границу значения, принимаемого функцией распределения этой случайной величины в точке 5.

**Решение:**

- а) Поскольку  $E(X) = 1$ , то при помощи неравенства Маркова получаем:

$$P(X > 2) = P(X \geq 2) \leq \frac{1}{2} = 0.5$$

- б) По аналогии с предыдущим пунктом получаем:

$$F_X(5) = P(X \leq 5) = 1 - P(X \geq 5) \geq 1 - \frac{1}{5} = 0.8$$

7. При помощи неравенства Чебышева определите:

- а) Верхнюю границу вероятности того, что случайная величина  $X$ , у которой  $E(X) = 2$  и  $Var(X) = 25$ , отклонится от своего математического ожидания не менее, чем на 10.
- б) Нижнюю границу вероятности того, что непрерывная случайная величина  $X$  отклонится от своего математического ожидания не более, чем на 3 стандартных отклонения.

**Решение:**

- а) Применяя неравенство Чебышева получаем:

$$P(|X - 2| \geq 10) \leq \frac{25}{10^2} = 0.25$$

- б) Обозначая  $\sqrt{Var(X)} = \sigma$  получаем:

$$P(|X - E(X)| \leq 3\sigma) = 1 - P(|X - E(X)| \geq 3\sigma) \geq 1 - \frac{1}{3^2} = \frac{8}{9}$$

8. Имеется бесконечная последовательность независимых экспоненциальных величин, дисперсия каждой из которых равняется 0.64. Определите, к чему стремится по вероятности:

- а) Арифметическое среднее этих случайных величин.
- б) Квадратный корень из арифметического среднего этих случайных величин.
- в) Арифметическое среднее квадратов этих случайных величин.
- г) Логарифм арифметического среднего квадратов этих случайных величин. (доп.)

**Решение:**

- а) Через  $X_i \sim EXP(\lambda)$  обозначим  $i$ -й элемент рассматриваемой последовательности. Поскольку  $Var(X_i) = 0.64$ , то  $\frac{1}{\lambda^2} = 0.64$ , откуда  $\lambda = 1.25$ , а значит  $E(X_i) = \frac{1}{1.25} = 0.8$ . Обратите внимание, что речь идет об арифметическом среднем независимых, одинаково распределенных случайных величин. Следовательно, пользуясь законом больших чисел получаем:

$$\bar{X} \xrightarrow{p} 0.8$$

б) Поскольку функция  $\sqrt{x}$  непрерывна, то применяя теорему Манна-Вальда имеем:

$$\sqrt{\bar{X}} \xrightarrow{p} \sqrt{0.8}$$

в) Обратим внимание, что:

$$E(X_i^2) = \text{Var}(X_i) + E(X_i)^2 = \frac{1}{1.25^2} + \left(\frac{1}{1.25}\right)^2 = 1.28$$

Следовательно, пользуясь законом больших чисел получаем:

$$\overline{X^2} \xrightarrow{p} 1.28$$

г) Применяя теорему Манна-Вальда получаем:

$$\ln(\overline{X^2}) \xrightarrow{p} \ln(1.28)$$

9. Лаврентий 100 раз подбросил обычный шестигранный кубик. При помощи центральной предельной теоремы рассчитайте, приблизительно, вероятность, с которой в сумме у него выпадет более 360 очков.

**Решение:** Обозначим через  $X_i$  сумму очков, выпавших при  $i$ -м броске. Поскольку  $E(X_i) = 3.5$  и  $\text{Var}(X_i) \approx 2.92$ , то в силу ЦПТ:

$$\sum_{i=1}^{100} X_i \sim \mathcal{N}(100 \times 3.5, 100 \times 2.92) = \mathcal{N}(350, 292)$$

Отсюда получаем, что:

$$P\left(\sum_{i=1}^{100} X_i > 360\right) \approx 1 - \Phi\left(\frac{360 - 350}{\sqrt{292}}\right) \approx 1 - \Phi(0.585) \approx 0.279$$

10. Имеется выборка  $X_1, \dots, X_5$  с реализацией  $x = (2, 0, 0, -1, 3)$ .

- Найдите реализацию вариационного ряда и его третьего члена.
- Посчитайте реализацию выборочного среднего.
- Вычислите реализацию исправленной выборочной дисперсии.
- Определите, чему равняется реализация третьего начального выборочного момента.
- Запишите реализацию выборочной функции распределения.

**Решение:**

а) Сортируя реализации наблюдений получаем реализацию вариационного ряда:

$$(-1, 0, 0, 2, 3)$$

б) Рассчитаем реализацию выборочного среднего:

$$\bar{x} = \frac{-1 + 0 + 0 + 2 + 3}{5} = 0.8$$

в) Посчитаем реализацию выборочной дисперсии:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{(-1 - 0.8)^2 + (0 - 0.8)^2 + (0 - 0.8)^2 + (2 - 0.8)^2 + (3 - 0.8)^2}{5 - 1} = 2.7$$

г) Вычислим значение реализации третьего начального выборочного момента:

$$\overline{x^3} = \frac{-1^3 + 0^3 + 0^3 + 2^3 + 3^3}{5} = 6.8$$

д) Запишем реализацию выборочной функции распределения:

$$\hat{F}_n(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < -1 \\ 0.2, & \text{если } -1 \leq t < 0 \\ 0.6, & \text{если } 0 \leq t < 2 \\ 0.8, & \text{если } 2 \leq t < 3 \\ 1, & \text{если } t \geq 3 \end{cases}$$

11. Имеется выборка  $X_1, X_2, \dots, X_n$  из распределения со следующей функцией плотности:

$$f_{X_i}(x) = \begin{cases} \frac{2(\theta-x)}{\theta^2}, & \text{при } x \in [0, \theta] \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}, \text{ где } \theta > 0$$

а) Определите, при каком  $\alpha$  оценка  $\hat{\theta}_3 = X_1 - 2X_2 + \alpha X_3$  окажется несмещенной.

б) Найдите  $\alpha > 0$ , при котором последовательность оценок  $\hat{\theta}_n = \frac{X_1 + \dots + X_n}{\alpha(n+1)}$  окажется состоятельной, либо покажите, что такого  $\alpha$  не существует.

в) Реализация выборки имеет вид  $x = (1.5, 3.5, 3)$ . При помощи второго начального момента найдите реализацию оценки параметра  $\theta$ .

**Решение:**

а) Сперва рассчитаем математическое ожидание наблюдения:

$$E(X_i) = \int_0^\theta \frac{x \times 2(\theta - x)}{\theta^2} dx = \frac{\theta}{3}$$

Пользуясь полученным результатом найдем математическое ожидание оценки:

$$E(\hat{\theta}_3) = E(X_1 - 2X_2 + \alpha X_3) = \frac{\theta}{3} - \frac{2\theta}{3} + \frac{\alpha\theta}{3}$$

У несмещенной оценки математическое ожидание равняется истинному значению оцениваемого параметра, откуда:

$$\frac{\theta}{3} - \frac{2\theta}{3} + \frac{\alpha\theta}{3} = \theta$$

Решая соответствующее равенство для  $\theta$  получаем, что  $\alpha = 4$ .

б) Сперва найдем, к чему стремится математическое ожидание оценки:

$$\begin{aligned}\lim_{n \rightarrow \infty} E(\hat{\theta}_n) &= \lim_{n \rightarrow \infty} E\left(\frac{X_1 + \dots + X_n}{\alpha(n+1)}\right) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{E(X_1) + \dots + E(X_n)}{\alpha(n+1)} = \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n \times \frac{\theta}{3}}{\alpha(n+1)} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n\theta}{3\alpha(n+1)} = \frac{\theta}{3\alpha}\end{aligned}$$

Поскольку состоятельность требует выполнения асимптотическое несмещенности, то должно соблюдаться  $\frac{\theta}{3\alpha} = \theta$ , а значит  $\alpha = \frac{1}{3}$ .

Убедимся, что при соответствующем значении  $\alpha$  дисперсия последовательности оценок стремится к нулю. В противном случае необходимого значения  $\alpha$  не существует.

$$\begin{aligned}\lim_{n \rightarrow \infty} Var(\hat{\theta}_n) &= \lim_{n \rightarrow \infty} Var\left(\frac{X_1 + \dots + X_n}{\alpha(n+1)}\right) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{Var(X_1) + \dots + Var(X_n)}{(\alpha(n+1))^2} = \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{nVar(X_1)}{\alpha^2(n+1)^2} = 0\end{aligned}$$

Обратим внимание, что для нахождения предела нет необходимости в расчете выражения для  $Var(X_i)$ , поскольку дисперсия наблюдения является константой, не зависящей от объема выборки  $n$ .

В данном случае дисперсия последовательности оценок стремится к нулю при любом  $\alpha > 0$ , в том числе при  $\alpha = \frac{1}{3}$ , а значит при соответствующем значении последовательность оценок окажется состоятельной.

в) Найдем второй начальный момент наблюдения:

$$E(X_i^2) = \int_0^\theta \frac{x^2 \times 2(\theta - x)}{\theta^2} dx = \frac{\theta^2}{6}$$

Отсюда получаем, что:

$$\theta = \sqrt{6E(X_i)}$$

Следовательно, оценка метода моментов будет иметь вид:

$$\hat{\theta} = \sqrt{6\bar{X}} = \sqrt{2(X_1 + X_2 + X_3)}$$

В итоге получаем реализацию оценки:

$$\hat{\theta}(x) = \sqrt{2 \times (1.5 + 3.5 + 3)} = 4$$

12. Имеется выборка  $X_1, X_2, \dots, X_n$  из распределения со следующей функцией вероятности:

x	1	2	3
$P(X_\theta = x)$	0.4	$0.3 + \theta$	$0.3 - \theta$

Реализация выборки имеет вид  $x = (1, 2, 2, 1, 3)$

а) При помощи первого начального момента найдите оценку параметра  $\theta$  методом моментов и посчитайте ее реализацию.

б) Проверьте, является ли найденная вами в предыдущем пункте оценка несмещенной.

**Решение:**

а) Найдем математическое ожидание наблюдения:

$$E(X_i) = 1 \times 0.4 + 2 \times (0.3 + \theta) + 3 \times (0.3 - \theta) = 1.9 - \theta$$

Отсюда получаем, что:

$$1.9 - \theta = E(X_i) \Rightarrow \theta = 1.9 - E(X_i)$$

Следовательно, оценка метода моментов имеет вид:

$$\hat{\theta} = 1.9 - \bar{X}$$

В результате получаем реализацию данной оценки:

$$\hat{\theta}(x) = 1.9 - \frac{1 + 2 + 2 + 1 + 3}{5} = 0.1$$

б) Оценка является несмещенной, поскольку:

$$E(\hat{\theta}) = E(1.9 - \bar{X}) = 1.9 - (1.9 - \theta) = \theta$$