



**Глава 9. Элементы математической  
статистики, комбинаторики и теории  
вероятностей**

**§53. Формула бинома Ньютона**

# Содержание

- Введение
- Проанализируем  
полученные  
формулы
- Предположение
- Доказательство  
формулы
- Биномиальные  
коэффициенты
- Пример
- Свойство  
биномиальных  
коэффициентов
- Для учителя
- Источники

# Введение

- Известно, что  $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$ .
- Умножив обе части этого тождества на  $(a + b)$ , получим:  $(a + b)^3 = (a^2 + 2ab + b^2)(a + b) = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$ . Аналогично умножив обе части тождества  $(a + b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$  на  $(a + b)$ , получим:  $(a + b)^4 = (a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3)(a + b) = a^4 + 4a^3b + 6a^2b^2 + 4ab^3 + b^4$ .
- Итак,  
 $(a + b)^1 = a + b$ ;  
 $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$ ;  
 $(a + b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$ ;  
 $(a + b)^4 = a^4 + 4a^3b + 6a^2b^2 + 4ab^3 + b^4$ .

# Проанализируем полученные формулы

- 
- Замечаем, во-первых, что в правой части любой из формул сумма показателей при переменных в каждом одночлене равна показателю двучлена в левой части. Например, в последней формуле двучлен возводится в четвертую степень и сумма показателей при  $a$  и  $b$  в каждом слагаемом в правой части равна 4. Впрочем, это понятно, ведь  $(a + b)^4$  — это  $(a + b)(a + b)(a + b)(a + b)$  и после раскрытия скобок получится многочлен, состоящий из одночленов  $a^4, a^3b, a^2b^2, ab^3, b^4$  с некоторыми коэффициентами.
- Замечаем, во-вторых, что коэффициенты при одночленах в правых частях формул ассоциируются с треугольником Паскаля, о котором мы говорили в § 52. Сравните числа, имеющиеся в первых четырех строках треугольника, с соответствующими коэффициентами при одночленах в каждой из четырех формул. Полное совпадение.

# Предположение

- Естественно предположить, что подмеченная закономерность сохранится и в общем случае, т. е. для любого натурального значения  $n$  верна следующая формула:

$$(a + b)^n = C_n^0 a^n + C_n^1 a^{n-1} b + C_n^2 a^{n-2} b^2 + C_n^3 a^{n-3} b^3 + \dots + C_n^k a^{n-k} b^k + \dots + C_n^{n-1} a b^{n-1} + C_n^n b^n. \quad (1)$$

# Доказательство формулы

- Рассмотрим произведение  $n$  двучленов  $(a + b)(a + b)(a + b) \dots (a + b)$  и докажем, что коэффициент при одночлене  $a^{n-k}b^k$  равен  $C_n^k$ .
- В самом деле, чтобы, раскрыв скобки, получить одночлен вида  $a^{n-k}b^k$ , нужно из  $n$  множителей вида  $(a + b)$  выбрать  $k$  множителей (порядок не важен), откуда берется переменная  $b$ ; тогда автоматически из оставшихся  $n-k$  множителей будет взята переменная  $a$ . Но выбрать  $k$  множителей из  $n$  имеющихся без учета порядка можно способами, что и требовалось доказать.

# Биномиальные коэффициенты

- Формулу (1) обычно называют **формулой бинома Ньютона** (бином — двучлен), а коэффициенты

$$C_n^0, C_n^1, C_n^2, C_n^3, \dots, C_n^k, \dots, C_n^{n-1}, C_n^n —$$

**биномиальными коэффициентами.**

# Пример

Раскрыть скобки в выражении:

а)  $(x + 1)^6$ ;

б)  $(a^2 - 2b)^5$ .

**Решение:**

а) Применим формулу (1), считая, что  
 **$a = x, b = 1, n = 6$** . Получим:

$$(x + 1)^6 = C_6^0 x^6 + C_6^1 x^5 \cdot 1 + C_6^2 x^4 \cdot 1^2 + C_6^3 x^3 \cdot 1^3 + \\ + C_6^4 x^2 \cdot 1^4 + C_6^5 x \cdot 1^5 + C_6^6 \cdot 1^6.$$



$$C_6^0 = C_6^6 = 1; C_6^1 = C_6^5 = 6; C_6^2 = C_6^4 = \frac{6!}{2! \cdot 4!} = \frac{6 \cdot 5}{2 \cdot 1} = 15;$$

$$C_6^3 = \frac{6!}{3! \cdot 3!} = \frac{6 \cdot 5 \cdot 4}{3 \cdot 2 \cdot 1} = 20.$$


Таким образом,  $(x + 1)^6 = x^6 + 6x^5 + 15x^4 + 20x^3 + 15x^2 + 6x + 1$ .

б) Применим формулу (1), считая, что в роли  $a$  выступает  $2a^2$ , а в роли  $b$  выступает  $-2b$ . Получим:

$$(a^2 - 2b)^5 = C_5^0(a^2)^5 + C_5^1(a^2)^4(-2b) + C_5^2(a^2)^3(-2b)^2 + \\ + C_5^3(a^2)^2(-2b)^3 + C_5^4(a^2)(-2b)^4 + C_5^5(-2b)^5.$$

Осталось вычислить биномиальные коэффициенты:

$$C_5^0 = C_5^5 = 1; C_5^1 = C_5^4 = 5; C_5^2 = C_5^3 = \frac{5!}{2! \cdot 3!} = \frac{5 \cdot 4}{2 \cdot 1} = 10.$$

Таким образом,  $(a^2 - 2b)^5 = a^{10} - 10a^8b + 40a^6b^2 - 80a^4b^3 + 80a^2b^4 - 32b^5$ . 

# СВОЙСТВО БИНОМИАЛЬНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

- В заключение получим одно любопытное свойство биномиальных коэффициентов. Составим формулу бинома Ньютона для выражения  $(x + 1)^n$  (подобно тому, как в рассмотренном примере мы применили формулу бинома Ньютона к выражению  $(x + 1)^6$ ). Получим:

$$(x + 1)^n = C_n^0 x^n + C_n^1 x^{n-1} + C_n^2 x^{n-2} + \\ + C_n^3 x^{n-3} + \dots + C_n^{n-2} x^2 + C_n^{n-1} x + C_n^n.$$

Если в этом тождестве положить  $x = 1$ , то получим:

$$C_n^0 + C_n^1 + C_n^2 + C_n^3 + \dots + C_n^{n-2} + C_n^{n-1} + C_n^n = 2^n.$$

# Для учителя

Весьма краткий § 53 практически является продолжением § 52, и в первоначальном варианте учебника таковым и был, т. е. стоял в конце § 52. Все же мы решили выделить бином Ньютона в отдельный параграф. Во-первых, иначе § 52 оказался бы излишне объемным и перегруженным техническими деталями, а, во-вторых, бином Ньютона и исторически, и с учебной точки зрения — это материал, требующий для освоения специального внимания, отдельного от знакомства с сочетаниями и размещениями.

Сначала в § 53 выписаны формулы сокращенного умножения:

$$(a + b)^1 = a + b = 1 \cdot a + 1 \cdot b;$$

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2 = 1 \cdot a^2 + 2 \cdot ab + 1 \cdot b^2;$$

$$(a + b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3 = 1 \cdot a^3 + 3 \cdot a^2b + 3 \cdot ab^2 + 1 \cdot b^3;$$

$$(a + b)^4 = (a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3)(a + b) = 1 \cdot a^4 + 4 \cdot a^3b + 6 \cdot a^2b^2 + 4 \cdot ab^3 + 1 \cdot b^4.$$

С их помощью обнаруживается связь с только что изученным треугольником Паскаля. Затем приведена собственно формула бинома Ньютона

$$(a + b)^n = C_n^0 a^n + C_n^1 a^{n-1} b + C_n^2 a^{n-2} b^2 + C_n^3 a^{n-3} b^3 + \\ + \dots + C_n^k a^{n-k} b^k + \dots + C_n^{n-1} a b^{n-1} + C_n^n b^n$$

и кратко приведено ее обоснование, основанное именно на комбинаторном определении чисел  $C_n^k$ . По существу, в этом параграфе мы лишь знакомимся с формулой бинома Ньютона.

# Источники

- Алгебра и начала анализа, 10-11 классы, Часть 1. Учебник, 10-е изд. (Базовый уровень), А.Г.Мордкович, М., 2009
- Алгебра и начала анализа, 10-11 классы. (Базовый уровень) Методическое пособие для учителя, А.Г. Мордкович, П.В.Семенов, М., 2010
  - **Таблицы составлены в MS Word и MS Excel.**
- Интернет-ресурсы