

Рекуррентные соотношения

1. («Покори Воробьёвы горы!», 2018, 7–8.6; 9.5) Последовательность a_n задана следующим образом:

$$a_1 = 1, \quad a_{n+1} = a_n + \frac{2a_n}{n} \quad (\text{при } n \geq 1).$$

Найдите a_{100} .

0509

2. («Физтех», 2023, 9) Задана функция $f(x)$ такая, что $f(0) = 29\,892\,109$, а для любого натурального значения k справедливо равенство $f(0) + f(1) + \dots + f(k) = (k+1)(3k+1)f(k)$. Найдите $f(2021)$.

97'8

3. («Физтех», 2023, 10) Последовательность $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$ такова, что $x_1 = 126\,650$, а для любого натурального значения n справедливо соотношение

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n = \frac{n(8n+17)(2n+1)x_n}{15(2n+3)}.$$

Найдите x_{1562} .

77'0

4. (ММО, 1964, 7.5) Последовательность a_0, a_1, a_2, \dots образована по закону: $a_0 = a_1 = 1$, $a_{n+1} = a_n a_{n-1} + 1$. Доказать, что число a_{1964} не делится на 4.

5. (ММО, 1993, 9.2) Найдите x_{1000} , если $x_1 = 4$, $x_2 = 6$ и при любом натуральном $n \geq 3$ x_n — наименьшее составное число, большее $2x_{n-1} - x_{n-2}$.

6. (Всеросс., 2000, 3Э, 9.5) На доску последовательно выписываются числа $a_1 = 1, a_2, a_3, \dots$ по следующим правилам: $a_{n+1} = a_n - 2$, если число $a_n - 2$ — натуральное и ещё не выписано на доску; в противном случае $a_{n+1} = a_n + 3$. Докажите, что все квадраты натуральных чисел появятся в этой последовательности при прибавлении 3 к предыдущему числу.

7. (Турнир городов, 1996, 8–9) Последовательность определяется так: первые её члены — 1, 2, 3, 4, 5. Далее каждый следующий (начиная с 6-го) равен произведению всех предыдущих членов минус 1. Докажите, что сумма квадратов первых 70 членов последовательности равна их произведению.

8. (Турнир городов, 1995, 8–9) Можно ли из последовательности $1, 1/2, 1/3, \dots$ выбрать (сохраняя порядок)

а) сто чисел,

б) бесконечную подпоследовательность чисел,

из которых каждое, начиная с третьего, равно разности двух предыдущих ($a_k = a_{k-2} - a_{k-1}$)?

9. (Турнир городов, 1993, 8–9) Числовая последовательность определяется условиями:

$$a_1 = 1, \quad a_{n+1} = a_n + \lfloor \sqrt{a_n} \rfloor.$$

Докажите, что среди членов этой последовательности бесконечно много полных квадратов.

10. (Турнир городов, 1991, 8–9) Числовая последовательность $\{x_n\}$ такова, что для каждого $n > 1$ выполняется условие $x_{n+1} = |x_n| - x_{n-1}$. Докажите, что последовательность периодическая с периодом 9.

11. (Турнир городов, 2009, 8–11) В бесконечной последовательности a_1, a_2, a_3, \dots число a_1 равно 1, а каждое следующее число a_n строится из предыдущего a_{n-1} по правилу: если у числа n наибольший нечётный делитель имеет остаток 1 от деления на 4, то $a_n = a_{n-1} + 1$, если же остаток равен 3, то $a_n = a_{n-1} - 1$. Докажите, что в этой последовательности

а) число 1 встречается бесконечно много раз;

б) каждое натуральное число встречается бесконечно много раз.

(Вот первые члены этой последовательности: 1, 2, 1, 2, 3, 2, 1, 2, 3, 4, 3, ...)

12. («Высшая проба», 2017, 9.6) Последовательность $\{a_n\}$ определена следующим образом:

$$a_1 = 2, \quad a_{n+1} = a_n^2 - a_n + 1 \quad (\forall n \in \mathbb{N}).$$

Докажите неравенства

$$0, \underbrace{99 \dots 9}_{2017} < \sum_{i=1}^{2017} \frac{1}{a_i} < 1.$$

13. (Всеросс., 1994, ЗЭ, 11.5) Дана последовательность натуральных чисел a_1, a_2, \dots, a_n , в которой a_1 не делится на 5 и для всякого n

$$a_{n+1} = a_n + b_n,$$

где b_n — последняя цифра числа a_n . Докажите, что последовательность содержит бесконечно много степеней двойки.

14. (Всеросс., 2006, ЗЭ, 11.5) Последовательности положительных чисел (x_n) и (y_n) удовлетворяют условиям

$$x_{n+2} = x_n + x_{n+1}^2, \quad y_{n+2} = y_n^2 + y_{n+1}.$$

при всех натуральных n . Докажите, что если все числа x_1, x_2, y_1, y_2 больше 1, то $x_n > y_n$ при каком-нибудь натуральном n .

15. (Всеросс., 2012, РЭ, 10.3) Последовательность чисел a_1, a_2, \dots задана условиями $a_1 = 1$, $a_2 = 143$ и

$$a_{n+1} = 5 \cdot \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

при всех $n \geq 2$. Докажите, что все члены последовательности — целые числа.

16. (Всеросс., 2004, ЗЭ, 10.5) Последовательность неотрицательных рациональных чисел a_1, a_2, a_3, \dots удовлетворяет соотношению $a_m + a_n = a_{mn}$ при любых натуральных m, n . Докажите, что не все её члены различны.

17. (Всеросс., 1995, ОЭ, 11.6) Числовая последовательность a_0, a_1, a_2, \dots такова, что при всех неотрицательных m и n ($m \geq n$) выполняется соотношение

$$a_{m+n} + a_{m-n} = \frac{1}{2}(a_{2m} + a_{2n}).$$

Найдите a_{1995} , если $a_1 = 1$.

18. (Всеросс., 1999, ЗЭ, 10.2) Найдите все бесконечные ограниченные последовательности натуральных чисел a_1, a_2, a_3, \dots , для всех членов которых, начиная с третьего, выполнено

$$a_n = \frac{a_{n-1} + a_{n-2}}{(a_{n-1}, a_{n-2})}.$$

19. (Всеросс., 2003, ЗЭ, 10.6) Последовательность натуральных чисел a_n строится следующим образом:

a_0 — некоторое натуральное число;

$a_{n+1} = a_n/5$, если a_n делится на 5;

$a_{n+1} = \lfloor a_n \sqrt{5} \rfloor$, если a_n не делится на 5.

Докажите, что начиная с некоторого члена последовательность a_n возрастает.

20. (Всеросс., 2008, ОЭ, 10.4, 11.3) Последовательность (a_n) задана условиями

$$a_1 = 1000000, \quad a_{n+1} = n \left[\frac{a_n}{n} \right] + n.$$

Докажите, что в ней можно выделить бесконечную подпоследовательность, являющуюся арифметической прогрессией.

21. (Всеросс., 1998, ОЭ, 10.8) Загадано число от 1 до 144. Разрешается выделить одно подмножество множества чисел от 1 до 144 и спросить, принадлежит ли ему загаданное число. За ответ «да» надо заплатить 2 рубля, за ответ «нет» — 1 рубль. Какая наименьшая сумма денег необходима для того, чтобы наверняка угадать число?

22. (Всеросс., 2009, ЗЭ, 11.2) Последовательность a_1, a_2, \dots такова, что $a_1 \in (1; 2)$ и

$$a_{k+1} = a_k + \frac{k}{a_k}$$

при любом натуральном k . Докажите, что в ней не может существовать более одной пары членов с целой суммой.

23. (Всеросс., 2008, ЗЭ, 10.4) Последовательности (a_n) и (b_n) заданы условиями

$$a_1 = 1, \quad b_1 = 2, \quad a_{n+1} = \frac{1 + a_n + a_n b_n}{b_n}, \quad b_{n+1} = \frac{1 + b_n + a_n b_n}{a_n}.$$

Докажите, что $a_{2008} < 5$.

24. (Всеросс., 1993, ЗЭ, 10.8) Назовем усреднением последовательности a_k действительных чисел последовательность a'_k с общим членом

$$a'_k = \frac{a_k + a_{k+1}}{2}.$$

Рассмотрим последовательности: a_k, a'_k — её усреднение, a''_k — усреднение последовательности a'_k , и т. д. Если все эти последовательности состоят из целых чисел, то будем говорить, что последовательность a_k — хорошая. Докажите, что если последовательность x_k — хорошая, то последовательность x_k^2 — тоже хорошая.

25. (Всеросс., 2007, ЗЭ, 11.4) В бесконечной последовательности (x_n) первый член x_1 — рациональное число, большее 1, и

$$x_{n+1} = x_n + \frac{1}{[x_n]}$$

при всех натуральных n . Докажите, что в этой последовательности есть целое число.

26. (Турнир городов, 1999, 10–11) В ряд стоят 1999 чисел. Первое число равно 1. Известно, что каждое число, кроме первого и последнего, равно сумме двух соседних. Найдите последнее число.

27. (Турнир городов, 1994, 10–11) Последовательность натуральных чисел $a_1, a_2, \dots, a_n, \dots$ такова, что для каждого n уравнение $a_{n+2}x^2 + a_{n+1}x + a_n = 0$ имеет действительный корень. Может ли число членов этой последовательности быть

- а) равным 10;
- б) бесконечным?

28. (Турнир городов, 1993, 10–11) Числовая последовательность определяется условиями:

$$a_1 = 1, \quad a_{n+1} = a_n + [\sqrt{a_n}].$$

Сколько полных квадратов встречается среди первых членов этой последовательности, не превосходящих 1000000?

29. (Турнир городов, 2009, 10–11) В ячейку памяти компьютера записали число 6. Далее компьютер делает миллион шагов. На шаге номер n он увеличивает число в ячейке на наибольший общий делитель этого числа и n . Докажите, что на каждом шаге компьютер увеличивает число в ячейке либо на 1, либо на простое число.

30. (ММО, 1977, 10.4) Последовательность натуральных чисел (x_n) строится по следующему правилу: $x_1 = 2, x_{n+1} = [1,5x_n]$. Доказать, что последовательность $y_n = (-1)^{x_n}$ непериодическая.

31. (ММО, 2015, 11.3) У Ивана-царевича есть два сосуда ёмкостью по 1 л, один из которых полностью заполнен обычной водой, а в другом находится a л живой воды, $0 < a < 1$. Он может переливать только из сосуда в сосуд любой объём жидкости до любого уровня без переполнений и хочет за конечное число таких переливаний получить 40-процентный раствор живой воды в одном из сосудов. При каких значениях a Иван-царевич сможет это сделать? Считайте, что уровень жидкости в каждом из сосудов можно точно измерить в любой момент времени.

32. (*ММО, 2015, 11.4*) День в Анчурии может быть либо ясным, когда весь день солнце, либо дождливым, когда весь день льет дождь. И если сегодня день не такой, как вчера, то анчурійцы говорят, что сегодня погода изменилась. Однажды анчурійские ученые установили, что 1 января день всегда ясный, а каждый следующий день в январе будет ясным, только если ровно год назад в этот день погода изменилась. В 2015 году январь в Анчурии был весьма разнообразным: то солнце, то дожди. В каком году погода в январе впервые будет меняться ровно так же, как в январе 2015 года?