

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Институт прикладной математики и компьютерных наук

УТВЕРЖДЕНО:

Директор

А. В. Замятин

Оценочные материалы по дисциплине

Теория чисел

по направлению подготовки

10.03.01 Информационная безопасность

Направленность (профиль) подготовки:

Безопасность компьютерных систем

Форма обучения

Очная

Квалификация

Бакалавр

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

В.Н. Тренькаев

Председатель УМК

С.П. Сущенко

Томск – 2024

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-3. Способен использовать необходимые математические методы для решения задач профессиональной деятельности.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-3.1. Демонстрирует навыки выполнения стандартных действий, решения типовых задач, формулируемых в рамках базовых математических дисциплин, которые обеспечивают возможность решения задач профессиональной деятельности.

ИОПК-3.2. Осуществляет применение основных понятий, фактов, концепций, принципов математики и информатики для решения задач профессиональной деятельности.

ИОПК-3.3. Выявляет научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применяет соответствующий математический аппарат для их формализации, анализа и выработки решения.

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля:

– контрольная работа (ИОПК-3.1);

Пример.

1. Решите сравнение $8x \equiv 13 \pmod{19}$.

2. Решить систему сравнений
$$\begin{cases} x \equiv 1(3) \\ x \equiv 2(5) \\ x \equiv 1(7) \end{cases}$$

3. Найдите каноническое разложение числа $20!$ на простые множители.

4. Пусть $n = 225$.

Найти: а) число делителей б) сумму делителей в) функцию Эйлера.

5. Представить рациональное число $43/30$ в виде цепной дроби, затем с помощью подходящих дробей восстановить исходное число.

6. Найти иррациональное число, представленное данной периодической цепной дробью: $[(2,1)]$

7. Найти остаток от деления $208^{362} + 17^{184}$ на 19

8. Решить сравнение методом понижения степени: $x^8 + x^6 + 4x^5 + 2x^3 - 4x + 1 \equiv 0(5)$.

9. Решить сравнение по составному модулю: $x^3 + x^2 + 3x + 2 \equiv 0(35)$.

10. Выяснить с помощью символа Лежандра, разрешимо ли сравнение $x^2 \equiv 31(43)$.

11. Найти количество первообразных корней по модулю 97.

Ответы.

1. $\{4+19k\}$ 2. $\{22+105k\}$ 3. $2^{18} \cdot 3^8 \cdot 5^4 \cdot 7^2 \cdot 11 \cdot 13 \cdot 17 \cdot 19$

4. а) 9 б) 403 в) 120 5. $[1,2,3,4]$ 6. $1 + \sqrt{3}$ 7. 17

8. $\{1+5k\}$ и $\{3+5k\}$. 9. $\{22+35k\}$ 10. Да (символ Лежандра равен 1) 11. 32.

Критерии оценивания: суммарно за всю работу в семестре студент можно получить 3,5 балла из 5,0, то есть 70% от итоговой оценки. Ещё 30% - за ответ по теории на экзамене.

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

Экзамен проводится по билетам, билет состоит из 2 теоретических вопросов.

Вопросы к экзамену на доказательства (ИОПК-3.1, ИОПК-3.2, ИОПК-3.3).

1. Докажите, что остаток r_k , полученный при алгоритме Евклида, является общим делителем для a, b
2. Докажите, что остаток r_k , полученный при алгоритме Евклида, является наибольшим среди общих делителей.
3. Доказать рекурсивные формулы для коэффициентов Безу: $u_k = u_{k-2} - q_k u_{k-1}$,
 $v_k = v_{k-2} - q_k v_{k-1}$
4. Любое из доказательств теоремы Евклида о бесконечности множества простых чисел.
5. Докажите, что для любого $k \geq 1$ найдётся k составных чисел подряд.
6. Доказать, что если $n \in \mathbb{N}$ не делится ни на одно простое число, меньшее или равное $[\sqrt{n}]$, то оно простое.
7. Основная теорема арифметики: Каждое натуральное число $n > 1$ может быть представлено в виде произведения простых чисел: $n = p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_k$, две таких записи могут отличаться лишь порядком следования сомножителей.
8. Доказать, что если p простое, то $\sqrt{p}$ иррационально.
9. Пусть $a = p_1^{s_1} \cdot \dots \cdot p_m^{s_m}$, $b = p_1^{t_1} \cdot \dots \cdot p_m^{t_m}$, доказать, что
 $\text{НОД}(a, b) = p_1^{k_1} \cdot \dots \cdot p_m^{k_m}$, где $k_i = \min(s_i, t_i)$,
10. Доказать, что $a, b = ab$.
11. Доказать, что для всякого чётного $n \geq 4$, число $2^n - 1$ составное.
12. Доказать, что для всякого нечётного составного числа $n \in \mathbb{N}$, $2^n - 1$ составное.
13. Доказать, что число вида $2^n + 1$ может быть простым лишь при $n = 2^k$.
14. Доказать, что всякий многочлен с целыми коэффициентами, при некотором натуральном значении $x = n$ принимает значение, равное составному числу.
15. Доказать, что показатель простого числа p в разложении $n!$ равен
 $\left[\frac{n}{p} \right] + \left[\frac{n}{p^2} \right] + \left[\frac{n}{p^3} \right] + \dots + \left[\frac{n}{p^m} \right]$, где p^m последнее число, не превосходящее n .
16. Доказать формулу числа натуральных делителей: если $n = p_1^{k_1} \cdot p_2^{k_2} \cdot \dots \cdot p_s^{k_s}$, то
 $\tau(n) = (k_1 + 1) \cdot (k_2 + 1) \cdot \dots \cdot (k_s + 1)$.
17. Доказать формулу суммы всех натуральных делителей.

Если $n = p_1^{k_1} \cdot p_2^{k_2} \cdot \dots \cdot p_s^{k_s}$, то $\sigma(n) = \frac{p_1^{k_1+1}-1}{p_1-1} \cdot \dots \cdot \frac{p_s^{k_s+1}-1}{p_s-1}$.

18. Доказать теорему о сумме $f(d)$ по всем натуральным делителям).

Пусть $n = p_1^{k_1} \cdot p_2^{k_2} \cdot \dots \cdot p_s^{k_s}$. Тогда

$$\sum_{d|n} f(d) = (1 + f(p_1) + f(p_1^2) + \dots + f(p_1^{k_1})) \cdot \dots \cdot (1 + f(p_s) + f(p_s^2) + \dots + f(p_s^{k_s}))$$

19. Доказать, что если $n = 2^{k-1}(2^k - 1)$ то n является совершенным

20. Доказать, что если чётное число совершенно, то оно имеет вид $n = 2^{k-1}(2^k - 1)$, где $k \geq 2$, $p = 2^k - 1$ - простое.

21. Доказать свойство суммы функции Мёбиуса по всем делителям: $\sum_{d|n} \mu(d) = \begin{cases} 1 & (n=1) \\ 0 & (n>1) \end{cases}$

22. Доказать, что $\varphi(p^\alpha) = p^\alpha - p^{\alpha-1}$.

23. Доказать $\varphi(pq) = \varphi(p)\varphi(q) = (p-1)(q-1)$ (p, q простые).

24. Доказать $\varphi(m) = m \left(1 - \frac{1}{p_1}\right) \left(1 - \frac{1}{p_2}\right) \dots \left(1 - \frac{1}{p_k}\right)$.

25. Доказать, что $\varphi(n^k) = n^{k-1}\varphi(n)$.

26. Если $(m, n) = d$, то $\varphi(mn) = \varphi(m)\varphi(n) \frac{d}{\varphi(d)}$.

27. Доказать формулу Гаусса $\sum_{d|n} \varphi(d) = n$

28. Доказать, что число n простое $\Leftrightarrow \varphi(n) = n \cdot \tau(n) - \sigma(n)$.

29. Доказать, что $\tau(n)$ нечётно $\Leftrightarrow n = k^2$.

30. Доказать, что среднее гармоническое по всем делителям $= \tau(n) \frac{n}{\sigma(n)}$.

31. Доказать, что всякое чётное совершенное число является числом Оре.

32. Вывести рекурсивные формулы вычисления числителя и знаменателя подходящих дробей:

$$\frac{P_n}{Q_n} = \frac{P_{n-1}Q_n + P_{n-2}}{Q_{n-1}Q_n + Q_{n-2}}$$

33. Доказать, что для подходящих дробей верно равенство: $P_n Q_{n-1} - P_{n-1} Q_n = (-1)^n$.

34. Доказать, что для подходящих дробей верно равенство:

$$P_n Q_{n-2} - P_{n-2} Q_n = (-1)^{n-1} Q_n$$

35. Вывести формулы вычисления подходящих дробей через определители.

36. Доказать, что если цепная дробь периодическая, то соответствующее ей число есть квадратичная иррациональность.

37. Доказать, что $A\alpha^2 + B\alpha + C = 0$, то при замене $\alpha = \frac{Px + R}{Qx + S}$, при условии $|PS - QR| = 1$

получится квадратичное уравнение с тем же дискриминантом.

38. (Теорема Лагранжа). Доказать, что любая квадратичная иррациональность разлагается в периодическую цепную дробь.

39. Z_n - кольцо вычетов. Доказать: $(k, n) = 1 \Leftrightarrow \bar{k}$ обратимый.

40. Z_n - кольцо вычетов. Доказать: $(k, n) = 1 \Leftrightarrow \bar{k}$ не делитель нуля.

41. Если $(a, m) = 1$, $\{x_1, \dots, x_m\}$ - полная система вычетов по модулю m , то числа вида $\{ax_1 + b, \dots, ax_m + b\}$ тоже есть полная система вычетов по модулю m .

41. Если $(a, m) = 1$, $\{x_1, \dots, x_{\varphi(m)}\}$ - приведённая система вычетов по модулю m , то $\{ax_1, \dots, ax_{\varphi(m)}\}$ тоже образуют приведённую систему вычетов по модулю m .

43. Доказать, что:

1) Если $(a, m) = 1$, то $ax \equiv b(m)$ имеет единственное решение.

2) Если $(a, m) = d \neq 1$, b не делится на d , то $ax \equiv b(m)$ неразрешимо.

3) Если $(a, m) = d \neq 1$, и $b \vdots d$, то $ax \equiv b(m)$ имеет d решений.

44. Теорема Эйлера. $(a, m) = 1 \Rightarrow a^{\varphi(m)} \equiv 1(m)$.

45. Докажите, что для любого простого числа p и $a \in Z$, $a^{p-1} \equiv 1(p)$.

(малая теорема Ферма).

46. Пусть $n = p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_k$, и $(n-1) \vdots (p_i - 1) \forall i = 1, \dots, k$. Докажите, что n есть число Кармайкла (абсолютно псевдопростое).

47. Пусть $p_1, \dots, p_k$ - простые числа, тогда существует число x ,

такое что: $x \equiv r_1(p_1), \dots, x \equiv r_k(p_k)$ (китайская теорема об остатках).

48. Докажите, что всякое сравнение $f(x) = \alpha_n x^n + \dots + \alpha_1 x + \alpha_0 \equiv 0(p)$ степени $n \geq p$ равносильно некоторому сравнению степени не выше $p-1$.

49. Докажите, что если x_1 - решение сравнения $f(x) \equiv 0(p)$, то это сравнение равносильно $(x - x_1)q(x) \equiv 0(p)$, где $q(x)$ - неполное частное от деления $f(x)$ на $(x - x_1)$.

50. Докажите, что p является простым $\Leftrightarrow ((p-1)! + 1) \equiv 0(p)$ (теорема Вильсона).

51. Докажите, что если $f(a) \equiv 0(p^k)$ и $f'(a)$ не делится на p , то существует такое t , что $f(a + p^k t) \equiv 0(p^{k+1})$.

52. Докажите, что если p - простое нечётное число, то либо $d^{\frac{p-1}{2}} \equiv 1(p)$, либо $d^{\frac{p-1}{2}} \equiv -1(p)$.

53. Докажите, что существует ровно $\frac{p-1}{2}$ квадратичных вычетов по простому нечётному модулю p .

54. Докажите, что d является квадратичным вычетом по простому нечётному модулю $p \Leftrightarrow$

$d^{\frac{p-1}{2}} \equiv 1(p)$, и не является квадратичным вычетом $\Leftrightarrow d^{\frac{p-1}{2}} \equiv -1(p)$ (критерий Эйлера).

55. Докажите, что $p-1$ является квадратичным вычетом по модулю p тогда и только тогда, когда $p = 4k + 1$.

56. Критерий Гаусса. Докажите, что $\left(\frac{a}{p}\right) = (-1)^t$, где t - количество чисел $\left\{a, 2a, \dots, \frac{p-1}{2}a\right\}$, для которых наименьший по модулю вычет отрицателен.

57. Докажите, что $x^2 \equiv a(p)$ разрешимо $\Leftrightarrow \sum_{x=1}^{\frac{p-1}{2}} \left[\frac{2ax}{p} \right]$ чётно.

58. Доказать $\left(\frac{2}{p}\right) = \begin{cases} 1 & \text{если } p \equiv \pm 1(8) \\ -1 & \text{если } p \equiv \pm 3(8) \end{cases}$

59. Доказать $\left(\frac{2}{p}\right) = (-1)^{\frac{p^2-1}{8}}$.

60. Доказать, что для нечётного a , $x^2 \equiv a(p)$ разрешимо $\Leftrightarrow \sum_{x=1}^{\frac{p-1}{2}} \left[\frac{ax}{p} \right]$ чётно.

61. Критерий квадратичной взаимности.

Для двух простых нечётных чисел p, q : $\left(\frac{p}{q}\right) \cdot \left(\frac{q}{p}\right) = (-1)^{\frac{p-1}{2} \cdot \frac{q-1}{2}}$.

62. Докажите, что для составного числа вида $n = pq$, где p, q нечётны, количество квадратичных вычетов по модулю n равно $\frac{p+1}{2} \cdot \frac{q+1}{2}$, а в общем случае $\prod_{i=1}^k \frac{p_i+1}{2}$.

63. Докажите, что если $\frac{pq+1}{2} > \frac{p+1}{2} \cdot \frac{q+1}{2}$, то найдутся такие x, y что $x^2 - y^2 \vdots pq$.

64. Докажите, что если a нечётно, то решениями сравнения $x^2 \equiv a(2^k)$ могут быть только числа вида $8k+1$.

65. Доказать свойство символа Якоби: $\left(\frac{-1}{P}\right) = (-1)^{\frac{P-1}{2}}$.

66. Доказать, что $a^n \equiv 1(m) \Rightarrow n \vdots P_m(a)$ и следствие: $\varphi(m) \vdots P_m(a)$.

67. Доказать, что если $P_m(a) = k$, то во множестве $\{a^0, a^1, \dots, a^{k-1}\}$ все элементы попарно не сравнимы.

67. Доказать, что если $P_m(a) = k$, то $a^s \equiv a^t(m) \Leftrightarrow s \equiv t(k)$.
68. Доказать, что если $(a, m) = 1$, то $a^{L(m)} \equiv 1(m)$.
69. Доказать, что если p простое число, и $\varphi(p) = p - 1 = q_1^{b_1} \cdot \dots \cdot q_s^{b_s}$, то:
 a первообразный $\Leftrightarrow a^{\frac{\varphi(p)}{q_1}}, \dots, a^{\frac{\varphi(p)}{q_s}}$ все не сравнимы с 1 по модулю p .
70. Доказать, что показатель $P_{2^n}(a) \leq 2^{n-2}$ при нечётном a и $n \geq 3$.
71. Пусть p простое. Доказать, что первообразный корень по модулю p^2 является также первообразным по модулю p .
72. Доказать, что если a первообразный по модулю p , и a^{p-1} не сравнимо с 1 по модулю p^2 , то a первообразный и по модулю p^2 .
73. Доказать, что если a первообразный по модулю p , то a или $a + p$ первообразный по модулю p^2 .
74. Доказать свойства индексов. $\text{ind}_a bc = \text{ind}_a b + \text{ind}_a c$, $\text{ind}_a(b^n) = n \cdot \text{ind}_a b$
75. Доказать, что если простое нечётное число имеет вид $p = 4k + 1$, то существует $q \in N$, такое, что $q^2 \equiv -1(\text{mod } p)$.
76. Теорема Эйлера-Ферма. Если простое нечётное число имеет вид $4k + 1$, то оно представимо в виде суммы квадратов $x^2 + y^2$.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

- 1) Полный ответ, изложенный кратко и ясно – «отлично».
- 2) Ответ неполный (но $> 80\%$), пояснения логически непротиворечивы – «хорошо».
- 3) Ответ неполный (но $> 50\%$), есть проблемы в логике и пояснениях – «удовлетворительно».
- 4) Ответ неполный ($< 50\%$), отсутствие логики в пояснениях – «неудовлетворительно».

4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

В качестве материалов для проверки остаточных знаний можно использовать те же самые контрольные задачи, которые студенты решают на контрольных работах в течение семестра.

Информация о разработчиках

Приходовский Михаил Анатольевич, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры компьютерной безопасности ТГУ.