Современная экономическая наука и образование
в России

РЭШ
Российская
экономическая
школа

ПОСОБИЕ
ПО МАТЕМАТИКЕ
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ
В РЭШ
В 2011 ГОДУ

Москва 2011

Бремзен А. С., Головань С. В., Катышев П. К., Савватеев А. В.

Пособие по математике для поступающих в Российскую экономическую школу в 2011 году. — М., 2011 — 81 с.

Данное пособие содержит информацию о вступительном экзамене по математике в РЭШ и дополняет справочник для поступающих в РЭШ в 2011 году.

Содержание

Пособие по математике для поступающих в РЭШ содержит информацию о вступительном экзамене и дополняет справочник для поступающих в РЭШ.

Содержание экзамена в течение ряда лет оставалось неизменным, хотя формы экзамена менялись.

В пособии описывается содержание и структура вступительного экзамена. Требования, предъявляемые на вступительных экзаменах, содержатся в справочнике для поступающих в РЭШ.

Пособие содержит подробную программу вступительного экзамена и варианты вступительных экзаменов 2008—2010 годов с решениями.

Приводя решения задач, мы стремились показать как правильно решать задачи. Мы не всегда приводим самые лучшие, самые изящные, самые короткие решения, которые может придумать опытный математик. Мы стараемся привести самое естественное решение задачи и доводим его до конца логически строго, описывая основные этапы процесса решения, соответствующие аргументы для приводимых утверждений и логические переходы.

1 Программа вступительного экзамена

1.1 Математический анализ

1. Элементы теории множеств

Понятие о множествах и их элементах. Подмножества. Операции над множествами: объединение, пересечение, разность. Декартово произведение двух и более множеств; проекции элемента декартова произведения.

Отображение одного множества в другое; область определения, область значений, график отображения. Тождественное отображение множества в себя. Образ элемента или множества из области определения; (полный) прообраз элемента или множества из области значений. Композиция (суперпозиция) отображений.

Взаимно однозначные отображения (вложения) и отображения «на» (накрытия). Обратное отображение. Равномощные (эквивалентные по мощности) множества. Конечные и счетные множества. Счетность множества рациональных чисел. Мощность подмножества счетного множества. Мощность конечного или счетного объединения счетных множеств.

2. Числовая прямая $\mathbf{R}$ и арифметическое пространство $\mathbf{R}^n$

Вещественные (действительные) числа. Открытый, замкнутый, полуоткрытый отрезки. Понятие мажоранты (верхней границы) и миноранты (нижней границы) подмножества вещественных чисел, ограниченного (сверху, снизу) множества, наибольшего и наименьшего элемента множества, (точной) верхней и нижней граней.

Свойство полноты числовой прямой: теорема о существовании верхней (нижней) грани и теорема о непустоте пересечения вложенных отрезков. Плотность множества рациональных чисел как подмножества числовой прямой. Несчетность отрезка числовой прямой; мощность континуума.

Арифметическое (числовое, координатное) пространство $\mathbf{R}^n$. Операции сложения элементов (векторов, точек) $\mathbf{R}^n$ и умножения их на число. Понятие ограниченного множества в $\mathbf{R}^n$.

3. Свойства множеств на числовой прямой и в $\mathbf{R}^n$

Понятие ε-окрестности точки на числовой прямой. Открытый параллелепипед в $\mathbf{R}^n$ как декартово произведение открытых числовых отрезков. Общее понятие окрестности точки числовой прямой и точки пространства $\mathbf{R}^n$. Системы кубических и шаровых ε-окрестностей.

Внутренние, внешние и граничные точки множества. Внутренность, внешность и граница множества. Изолированные и предельные точки множества. Открытые и замкнутые множества. Теоремы об объединении и пересечении открытых и замкнутых множеств. Замыкание множества. Дополнения к открытым и замкнутым множествам.

Теорема о непустоте пересечения вложенных замкнутых параллелепипедов (полнота $\mathbf{R}^n$). Понятие компактного (т. е. ограниченного и замкнутого) множества в $\mathbf{R}^n$ и на числовой прямой. Непустота пересечения вложенных непустых компактных множеств. Теорема о выделении конечного открытого покрытия компактного множества в $\mathbf{R}^n$ (на числовой прямой $\mathbf{R}$).

4. Предел последовательности

Понятие последовательности точек $\mathbf{R}^n$ (или точек числовой прямой $\mathbf{R}$) и ее предела. Подпоследовательности и предельные точки (частичные пределы). Предел подпоследовательности сходящейся последовательности. Теорема Больцано—Вейерштрасса о выделении сходящейся подпоследовательности из ограниченной последовательности точек $\mathbf{R}^n$. Понятие фундаментальной последовательности (последовательности Коши). Эквивалентность понятий сходящейся и фундаментальной последовательности в $\mathbf{R}^n$.

Числовые последовательности: существование предела у монотонной ограниченной последовательности; предельный переход в неравенствах; понятие верхнего и нижнего предела. Теоремы о пределе суммы, разности, произведения, частного двух последовательностей.

5. Предел функции. Непрерывность функций (отображений)

Числовые (скалярные) функции как отображения подмножеств $\mathbf{R}^n$ или числовой прямой в числовую прямую. Определение предела функции в точке на языке «ε–δ»; понятие предела на бесконечности. Арифметические операции над функциями с общей областью определения. Теоремы о пределе суммы, разности, произведения, частного двух функций. Предельный переход в неравенствах.

Определение непрерывности функции на языке «ε–δ», в терминах предела функции и на языке последовательностей; их эквивалентность. Непрерывность суперпозиции непрерывных функций.

Ограниченность непрерывной числовой функции и достижение ею своего наибольшего и наименьшего значений на компактном множестве в $\mathbf{R}^n$ (теоремы Вейерштрасса).

Понятие равномерной непрерывности числовой функции на некотором множестве в $\mathbf{R}^n$ или $\mathbf{R}^1$. Равномерная непрерывность непрерывной функции на компактном множестве.

Функциональные последовательности. Поточечная и равномерная сходимость функциональной последовательности. Непрерывность функции, являющейся поточечным пределом равномерно сходящейся последовательности непрерывных функций.

6. Числовые функции одного (числового) аргумента

Односторонние пределы и классификация точек разрыва. Понятие предела на $-\infty$ и $+\infty$. Монотонные функции; виды разрывов монотонной функции. Теорема о существовании и непрерывности обратной функции.

Пределы

$$\lim_{x\to 0}\frac{\sin x}{x},\quad \lim_{x\to\infty}\left(1+\frac{1}{x}\right)^x,\quad \lim_{x\to 0}\frac{\ln(1+x)}{x},\quad \lim_{x\to 0}\frac{e^x-1}{x},\quad \lim_{x\to 0}\frac{(1+x)^\alpha-1}{x}.$$

Непрерывность элементарных функций.

Теорема о промежуточных значениях функции, непрерывной на отрезке (теорема Коши).

7. Дифференцирование функций в $\mathbb{R}^1$

Производная, ее геометрический и физический смысл; односторонние производные, бесконечные производные. Непрерывность функции, имеющей производную. Производная суммы, произведения, частного двух функций. Производная сложной функции. Производные элементарных функций. Первый дифференциал и его геометрический смысл.

Теоремы Ролля, Лагранжа и Коши. Правило Лопиталя. Производные высших порядков. Формула Тейлора (Маклорена). Разложение по формуле Маклорена некоторых элементарных функций. Применение формулы Тейлора для приближенных вычислений значений функции. Признаки возрастания и убывания функции. Понятие локального и глобального экстремума. Стационарные точки. Достаточные условия экстремума. Случай отсутствия производных в отдельных точках. Выпуклые и вогнутые функции, их графики. Точки перегиба. Решение простейших экстремальных задач.

8. Производные и дифференциалы функций нескольких переменных (в $\mathbb{R}^n$)

Частные производные. Дифференцируемость. Первый дифференциал. Связь дифференцируемости и непрерывности. Необходимое условие дифференцируемости, достаточное условие дифференцируемости (в терминах существования и свойств частных производных). Касательная плоскость и нормаль к поверхности. Производная по направлению. Градиент. Ортогональность градиента множеству уровня. Дифференцирование сложной функции. Частные производные высших порядков. Достаточные условия равенства смешанных производных. Формула Тейлора. Теорема о неявной функции.

9. Методы оптимизации в $\mathbb{R}^n$

Понятие экстремума (локального максимума или локального минимума). Экстремум при отсутствии ограничений; необходимые и достаточные условия локального экстремума. Экстремум при наличии ограничений в форме уравнений (условный экстремум); метод множителей Лагранжа; достаточные условия экстремума при наличии ограничений. Применение метода множителей Лагранжа для поиска наибольшего (наименьшего) значения функции на ограниченном замкнутом множестве, заданном системой уравнений.

10. Неопределенный интеграл

Понятие первообразной и неопределенного интеграла. Свойства неопределенного интеграла, таблица интегралов элементарных функций. Приемы интегрирования. Интегрирование рациональных дробей, простейших иррациональных функций, простейших трансцендентных функций.

11. Определенный интеграл

Задача отыскания площади криволинейной трапеции. Определенный интеграл как предел интегральных сумм. Суммы Дарбу. Критерий интегрируемости. Интегрируемость непрерывных функций, монотонных ограниченных функций, функций с конечным числом точек разрыва. Свойства определенного интеграла. Теорема о среднем. Существование первообразной непрерывной функции. Формула Ньютона—Лейбница. Замена переменной под знаком интеграла. Интегрирование по частям.

12. Числовые и функциональные ряды

Понятие числового ряда и его суммы. Сходящиеся и расходящиеся ряды. Примеры. Необходимое условие сходимости ряда. Критерий Коши сходимости ряда. Знакопостоянные и знакопеременные ряды. Признаки сравнения рядов. Признаки сходимости Даламбера и Коши. Интегральный признак Коши. Признак Лейбница для знакочередующихся рядов. Абсолютно и условно сходящиеся ряды. Теорема о перестановке членов условно сходящегося ряда (теорема Римана).

Поточечная и равномерная сходимость функциональных рядов. Необходимое и достаточное условие равномерной сходимости. Признаки равномерной сходимости. Теоремы о равномерно сходящихся функциональных рядах.

13. Степенные ряды

Радиус и промежуток сходимости степенного ряда. Формулы для определения радиуса сходимости. Почленное дифференцирование и интегрирование степенных рядов, неизменность радиуса сходимости. Разложение элементарных функций в степенные ряды. Теорема Вейерштрасса о приближении непрерывных функций многочленами.

14. **Обыкновенные дифференциальные уравнения первого порядка**
Определение дифференциального уравнения первого порядка. Понятие общего и частного решения. Теорема существования и единственности решения. Уравнения с разделяющимися переменными и сводящиеся к ним. Линейные однородные и неоднородные уравнения. Уравнения в полных дифференциалах.

1.2 Литература

1. Архипов Г. И., Садовничий В. А., Чубариков В. Н., *Лекции по математическому анализу*. М., Высшая школа, 1999.

2. Бугров Я. С., Никольский С. М., *Дифференциальное и интегральное исчисление*. М., Наука, 1980.

3. Виноградова И. А., Олехник С. Н., Садовничий В. А., *Задачи и упражнения по математическому анализу*. В 2 кн., М, Высшая школа, 2000.

4. Ильин В. А., Садовничий В. А., Сендов Б. Х., *Математический анализ*. Т. 1, 2, М., Изд-во МГУ, 1958—87.

5. Колмогоров А. Н., Фомин С. В., *Элементы теории функций и функционального анализа*. М., Наука, 1989.

6. Кудрявцев Л. Д., *Курс математического анализа*. Т. 1, 2. М., Наука, 1981.

7. Понтрягин Л. С., *Обыкновенные дифференциальные уравнения*. М., Наука, 1982.

8. Фихтенгольц Г. М., *Курс дифференциального и интегрального исчисления*. Т. 1, 2, М.—Л., Гостехиздат, 1951.

9. Фихтенгольц Г. М., *Основы математического анализа*. Т. 1, 2, М., Наука, 1964.

10. Эльсгольц Л. Э., *Дифференциальные уравнения*. М., Гостехиздат, 1957.

Разумеется, можно пользоваться и более поздними изданиями указанных в программе книг, а также другими источниками.

1.3 Линейная алгебра

1. **Матрицы и операции с ними**

   Понятие прямоугольной матрицы; операции сложения матриц, умножения матрицы на число, умножения матриц. Единичная и нулевая матрицы. Трактовка пространства $\mathbf{R}^n$ как пространства векторов-столбцов или пространства векторов-строк. Умножение матрицы на столбец и строки на матрицу как частный случай умножения матриц. Свойства ассоциативности и дистрибутивности операций с матрицами. Операция транспонирования; транспонирование суммы и произведения матриц. Понятие симметричной матрицы.

2. **Векторные пространства**

   Общее определение (вещественного) линейного пространства; примеры. Понятие системы векторов. Линейные комбинации системы векторов; понятие линейной зависимости и независимости системы векторов. Условие сохранения линейной независимости при расширении системы векторов. Теорема о линейной зависимости системы векторов, линейно выражающихся через систему с меньшим числом векторов. Понятие ранга системы векторов.

   Понятие базиса векторного пространства. Конечномерные пространства. Примеры базисов. Равномощность базисов (в конечномерном пространстве) и понятие размерности. Линейная зависимость системы из $n+1$ вектора в n-мерном пространстве. Возможность дополнения до базиса любой линейно независимой системы векторов. Базис как максимальная линейно независимая система векторов. Однозначность разложения вектора по данному базису; координаты. Соответствие между векторами и их координатами. Трактовка координат как элементов (координатного) пространства $\mathbf{R}^n$. Сохранение линейной зависимости и независимости при переходе от системы векторов к системе их координат.

   Понятие подпространства, собственного подпространства. Конечномерность подпространства конечномерного пространства; неравенство между их размерностями. Линейная оболочка системы векторов как подпространство. Ранг системы векторов и размерность его линейной оболочки. Линейные (аффинные) многообразия как сдвиги подпространств; аналогия с прямыми и плоскостями в трехмерном геометрическом пространстве.

   Операции с подпространствами: пересечение и векторная сумма. Понятие прямой суммы двух (и более) подпространств. Связь размерностей суммы и пересечения с размерностями исходных (двух) подпространств; случай прямой суммы.

3. **Системы линейных (алгебраических) уравнений**

   Представление совокупности неизвестных системы линейных уравнений и правых частей как векторов в $\mathbf{R}^n$ (в форме векторов-столбцов или векторов-строк). Матрица системы и матрично-векторная ее запись. Представление прямоугольной матрицы в виде семейства ее столбцов или семейства строк; теорема о совпадении рангов этих семейств (теорема о ранге матрицы); ранг матрицы, ранг системы уравнений. Понятие о матрицах полного ранга. Вырожденные и невырожденные квадратные матрицы. Трактовка системы линейных уравнений как задачи о разложении правой части по столбцам матрицы системы. Условие существования решения при любой правой части (для данной матрицы системы) и условие единственности или отсутствия решения в терминах ранга матрицы. Теорема Кронекера—Капелли.

   Множество решений однородной системы линейных уравнений как подпространство в $\mathbf{R}^n$, его размерность; базис подпространства решений (фундаментальная система решений) и запись общего решения в форме линейной комбинации с неопределенными коэффициентами. Возможность задания любого подпространства в $\mathbf{R}^n$ как множества решений некоторой системы линейных однородных уравнений.

   Связь множества решений совместной неоднородной системы и соответствующей ей однородной системы; запись общего решения. Прямая и гиперплоскость в $\mathbf{R}^n$. Возможность задания любого линейного (аффинного) многообразия в $\mathbf{R}^n$ как множества решений некоторой системы линейных уравнений.

   Системы линейных уравнений с квадратной невырожденной матрицей; существование и единственность решения. Понятие обратной матрицы; ее существование и единственность для любой невырожденной матрицы и отсутствие для вырожденной матрицы. Невырожденность обратной матрицы; повторное обращение. Умножение системы линейных уравнений на невырожденную квадратную матрицу как эквивалентное преобразование системы. Использование эквивалентных преобразований для вычисления ранга матрицы и поиска общего решения системы линейных уравнений.

4. **Определитель матрицы**

   Определитель квадратной матрицы. Неизменность определителя при транспонировании матрицы. Смена знака определителя при перестановке двух строк или двух столбцов матрицы. Линейность определителя по каждой строке и каждому столбцу. Равенство нулю определителя как необходимое и достаточное условие вырожденности матрицы. Определитель произведения матриц, определитель обратной матрицы.

Понятие минора произвольного порядка; определение ранга матрицы в терминах миноров. Алгебраические дополнения элементов матрицы и формулы разложения определителя по строке или столбцу. Формулы Крамера для решения системы линейных уравнений с квадратной невырожденной матрицей. Присоединенная матрица и ее связь с обратной.

Вычисление определителя путем преобразования матрицы.

5. **Линейные операторы**

   Линейный оператор как линейное отображение векторного пространства X в векторное пространство Y; примеры. Совокупность $L(X, Y)$ всех линейных операторов из X в Y как векторное пространство. Образ и ядро линейного оператора. Суперпозиция линейных операторов.

   Матрица линейного оператора из X в Y для фиксированных базисов этих пространств. Соответствие между действиями над операторами и над их матрицами; матрица суперпозиции операторов. Матрицы перехода при смене базисов в X и Y, их невырожденность; преобразование матрицы линейного оператора при смене базисов.

6. **Линейные преобразования векторных пространств**

   Линейные операторы, действующие из векторного пространства X в себя; тождественный оператор; преобразование подобия для их матриц при смене базиса в X. Обратный оператор и его матрица; условие обратимости оператора в терминах его ядра и образа.

   Инвариантные подпространства оператора. Инвариантность образа и ядра оператора.

   Собственные векторы и собственные числа линейного оператора и его матрицы. Характеристический многочлен матрицы оператора, его неизменность при преобразовании подобия. Спектр оператора и матрицы, его совпадение с множеством нулей характеристического многочлена. Собственное подпространство, соответствующее данному собственному числу.

   Линейная независимость системы собственных векторов, соответствующих разным собственным числам. Матрицы (линейные операторы) простой структуры; диагональный вид матрицы в базисе из собственных векторов (приведение матрицы простой структуры к диагональному виду преобразованием подобия). Собственные числа и собственные векторы оператора проектирования.

7. **Евклидовы пространства**

   Понятие билинейной формы. Скалярное произведение; евклидово пространство. Стандартное скалярное произведение в $\mathbf{R}^n$; примеры другого выбора скалярного произведения. Длина вектора и угол между векторами (при данном выборе скалярного произведения). Неравенство Коши—Буняковского (неравенство Шварца).

Понятие ортогональности векторов; линейная независимость системы ненулевых попарно ортогональных векторов. Процесс ортогонализации и существование ортонормированного базиса. Выражение скалярного произведения двух векторов через их координаты в ортонормированном базисе. Ортогональное дополнение подпространства; ортогональный проектор.

Линейные операторы, сохраняющие скалярное произведение (изометрия евклидовых пространств); их матрицы в ортонормированном базисе (ортогональные матрицы). Невырожденность ортогональных матриц, совпадение обратной и транспонированной, произведение ортогональных матриц. Определитель и собственные числа ортогональной матрицы. Матрицы перестановки, матрицы вращения, матрицы отражения.

Самосопряженные (симметричные) операторы, симметричность их матриц в ортонормированном базисе. Ортогональность собственных векторов, соответствующих различным собственным числам. Существование ортонормированного базиса, состоящего из собственных векторов симметричного оператора. Приведение симметричной матрицы к диагональной форме преобразованием подобия с ортогональной матрицей перехода. Самосопряженность ортогонального проектора. Классификация симметричных матриц по их спектру: положительно (отрицательно) определенные; неотрицательно (неположительно) определенные или полуопределенные; неопределенные.

8. **Квадратичные формы**

Квадратичная форма. Задание квадратичной формы при помощи симметричной матрицы. Преобразование матрицы квадратичной формы при замене переменных. Приведение квадратичной формы к каноническому виду (с диагональной матрицей) преобразованием переменных с ортогональной матрицей перехода.

1.4 Литература

1. Бугров Я. С., Никольский С. М., *Элементы линейной алгебры и аналитической геометрии*. М., Наука, 1964.

2. Беклемишев Д. В., *Курс аналитической геометрии и линейной алгебры*. М., Физматлит, 2004.

3. Беклемишева Л. А., Петрович А. Ю., Чубаров И. А., *Сборник задач по аналитической геометрии и линейной алгебре*. М., Наука, 1987.

4. Воеводин В. В., *Линейная алгебра*. М., Наука, 1974.

5. Гельфанд И. М., *Лекции по линейной алгебре*. М., 2000.

6. Ефимов Н. В., Розендорн Э. Р., *Линейная алгебра и многомерная геометрия*. М., Наука, 1970.

7. Ильин В. А., Ким Б. Г., *Линейная алгебра*. М., Изд-во МГУ, 1998.

8. Ильин В. А., Позняк Э. Г., *Линейная алгебра*. М., Наука, 1984.

9. Кострикин И. А., Сенченко Д. В. и др., *Пособие по линейной алгебре для студентов-экономистов*. М., Изд-во МГУ, 1987.

10. Курош А. Г., *Курс высшей алгебры*. М., Наука, 1963.

11. Проскуряков И. В., *Сборник задач по линейной алгебре*. М., Лаборатория Базовых Знаний, 2001.

12. Скорняков Л. А., *Элементы линейной алгебры*. М., Наука, 1980.

13. *Сборник задач по математике для ВТУЗов. Линейная алгебра и основы математического анализа*. (под ред. Ефимова Н. В., Демидовича Б. П.) М., 1981.

14. Шилов Г. Е., *Математический анализ. Конечномерные линейные пространства*. М., Наука, 1963.

Разумеется, можно пользоваться и более поздними изданиями указанных в программе книг, а также другими источниками.

2 Вступительный экзамен 2008 г.

Экзамен по математике проводился в форме письменного теста. Продолжительность экзамена составляла 4 часа, максимальная оценка — «12».

Тест состоял из двух частей. Первая часть содержала вопросы и задачи по математическому анализу и линейной алгебре, в каждом следовало выбрать один правильный ответ из пяти предложенных вариантов.

Вторая часть содержала вопросы, объединенные в блоки. В каждом блоке была вводная часть, описывающая условия, в рамках которых надлежало ответить на вопросы данного блока. Каждый вопрос требовал ответа «Да» или «Нет».

Правила оценивания теста следующие

Первая часть:

* правильный ответ — «+1»
* неправильный ответ — «−0.25»
* отсутствие ответа — «0»

Вторая часть:

* правильный ответ — «+1»
* неправильный ответ — «−1»
* отсутствие ответа — «0»

Максимальное количество баллов, которое можно было получить за каждую часть теста, одинаково. Оценка за экзамен определялась суммой баллов, полученных за первую и за вторую части теста.

2.1 Тест

2.1.1 Первая часть теста

1. Дана задача Коши $y' = y\cos x$, $y(0) = 1$. Предел максимального (непродолжаемого) решения $y(x)$ при $x \to +\infty$ равен

A 0

B 1

C e

D $+\infty$

E не существует

2. Максимальное (непродолжаемое) решение задачи Коши $y' = \dfrac{y^2}{x^2}$, $y(1) = \dfrac{1}{2}$, определено на множестве

A $(-\infty, 0) \cup (0, +\infty)$

B $(-\infty, -1) \cup (-1, +\infty)$

C $(0, +\infty)$

D $(-1, +\infty)$

E $(-\infty, +\infty)$

3. Значение максимального (непродолжаемого) решения задачи Коши $y' = (y-1)^2$, $y(1) = 0$, в точке $x = -1$ равно

A -1

B 0

C 1

D 2

E не определено

4. Функция $f(x, y) = x^2$ достигает наименьшего значения на множестве $\{(x, y)\colon y^3 - y\cos x + \sin x = 0\}$

A ровно в одной точке

B ровно в двух точках

C ровно в трех точках

D ровно в четырех точках

E не достигает наименьшего значения

5. Функция $f(x, y) = xy$ на множестве $\{(x, y)\colon x^2 + y^2 = 1\}$

A достигает наименьшего значения в единственной точке

B достигает наибольшего значения в единственной точке

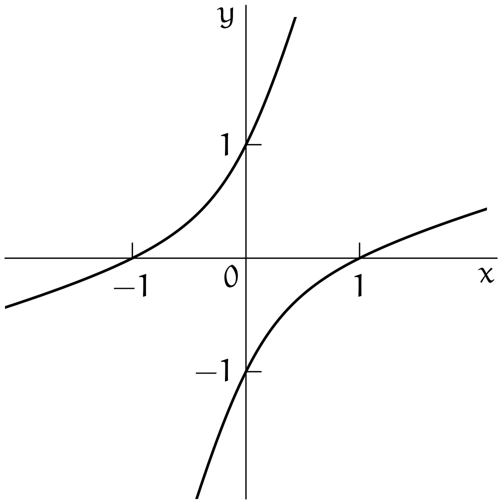
C не достигает наибольшего значения

D не достигает наименьшего значения

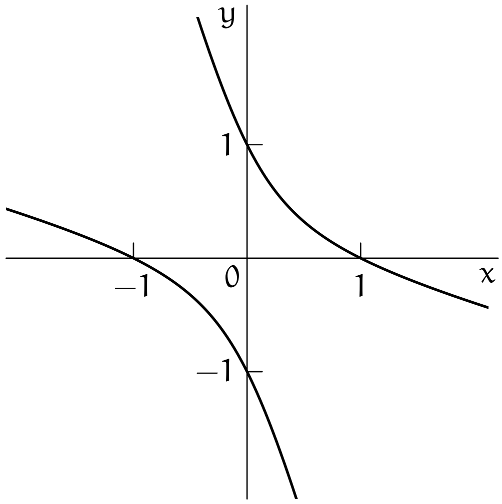
E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

6. Множество $\{(x, y)\colon x^2 + 4xy + y^2 = 1\}$ есть

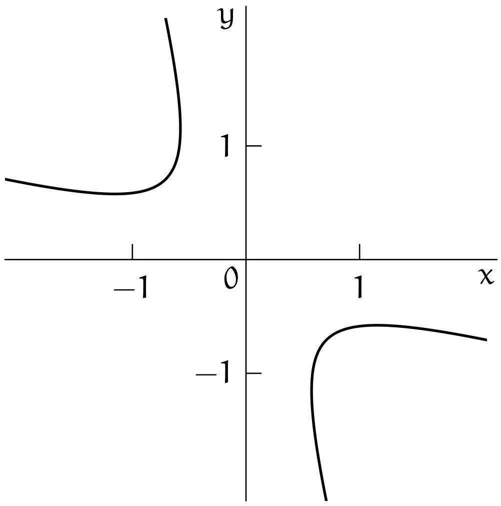
A



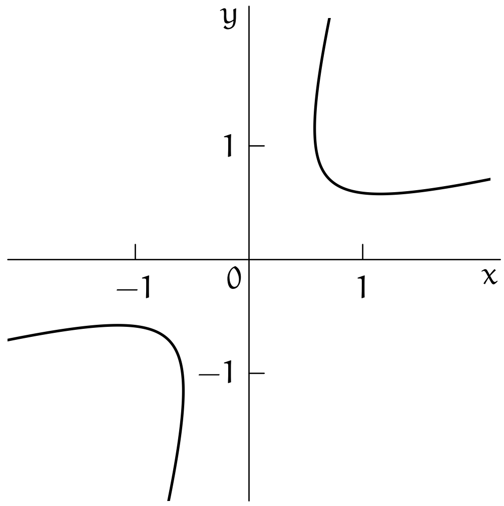
B



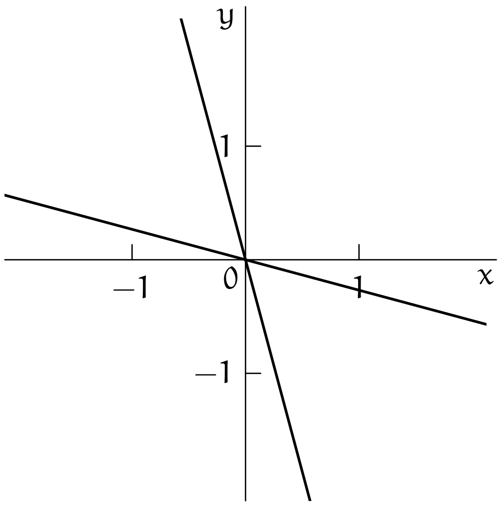
C



D



E



7. Пусть F — подмножество $\mathbf{R}$, и x — предельная точка F. Тогда

A $\quad x$ — изолированная точка F

B $\quad x$ — внешняя точка F

C $\quad x$ — граничная точка F

D $\quad x$ — внутренняя точка F

E $\quad$ все четыре утверждения A, B, C, D ложные

8. Пусть A — непустое подмножество $\mathbf{R}$, у которого множество внутренних точек пустое. Тогда

A множество граничных точек множества A непустое

B множество внешних точек множества A непустое

C множество A не более, чем счетное

D множество A имеет мощность континуума

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

9. Пусть F — замкнутое, G — открытое подмножества $\mathbf{R}$, и x — точка, принадлежащая пересечению $F \cap G$. Найдите ***ложное*** утверждение

A если x — предельная точка G, то x — предельная точка $F \cap G$

B если x — предельная точка F, то x — предельная точка $F \cap G$

C если x — внутренняя точка F, то x — внутренняя точка $F \cap G$

D если x — изолированная точка F, то x — изолированная точка $F \cap G$

E среди утверждений A, B, C, D есть ложное

10. На интервале (a, b) задана последовательность функций $\{f_n(x), n = 1, 2, \ldots\}$. Известно, что при каждом $x \in (a, b)$ существует предел $\lim\limits_{n\to\infty} f_n(x) = f(x)$. Тогда

A если каждая функция $f_n(x)$ разрывна на (a, b), и последовательность $\{f_n(x), n = 1, 2, \ldots\}$ сходится к $f(x)$ равномерно на (a, b), то функция $f(x)$ разрывна на (a, b)

B если каждая функция $f_n(x)$ непрерывна на (a, b), и последовательность $\{f_n(x), n = 1, 2, \ldots\}$ сходится к $f(x)$ неравномерно на (a, b), то функция $f(x)$ разрывна на (a, b)

C если каждая функция $f_n(x)$ разрывна на (a, b), и последовательность $\{f_n(x), n = 1, 2, \ldots\}$ сходится к $f(x)$ неравномерно на (a, b), то функция $f(x)$ непрерывна на (a, b)

D если каждая функция $f_n(x)$ ограничена на (a, b), а функция $f(x)$ является неограниченной на (a, b), то последовательность $\{f_n(x), n = 1, 2, \ldots\}$ сходится к $f(x)$ неравномерно на (a, b)

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

11. На плоскости xOy дано множество $M = \{(x, y) \colon y^2 - x^2 = 1\}$ и функция $f(x, y) = x^2 + 2y^2$. Какие из следующих утверждений (I, II, III) истинные?

I. Функция $f(x, y)$ достигает на множестве M наименьшего значения.

II. Точка $(0, 1)$ является точкой локального минимума функции $f(x, y)$ на множестве M.

III. Множество значений функции $f(x, y)$ на множестве M ограничено сверху.

A только I

B только I и II

C только I и III

D только II и III

E I, II и III

12. На отрезке $[a, b]$ задана функция $f(t)$, интегрируемая по Риману на этом отрезке. Пусть $F(x) = \int_a^x f(t)dt$. Тогда

A если функция $f(t)$ неубывающая, то функция $F(x)$ дифференцируема в каждой точке $x \in (a, b)$

B если функция $f(t)$ имеет разрыв в точке $x_0 \in (a, b)$, то функция $F(x)$ не дифференцируема в точке x_0

C если в точке $x_0 \in (a, b)$ функция $f(t)$ имеет разрыв второго рода, то функция $F(x)$ разрывна в точке x_0

D если функция $F(x)$ является возрастающей на $[a, b]$, то $f(t) \geqslant 0$ при всех $t \in (a, b)$

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

13. Уравнение $x^4 + 1 = kx$, где $k > 0$, имеет единственное решение при

A $k = \sqrt[4]{4}$

B $k = \dfrac{4}{\sqrt[4]{27}}$

C $k = 2\sqrt[4]{9}$

D $k = 3\sqrt[4]{3}$

E $k = 4\sqrt[4]{3}$

14. Предел $\lim\limits_{x \to +\infty} x^{3/2} \left(\sqrt{x+1} + \sqrt{x-1} - 2\sqrt{x}\right)$

A равен -1

B равен $-1/2$

C равен $-1/4$

D равен $-1/8$

E не существует

15. Последовательность $\{x_n, n = 1, 2, \dots\}$ определяется соотношениями $x_{n+1} = \dfrac{1}{x_n + 1}$, $x_1 > 0$. Тогда

A существует такое число $x_1 > 0$, что последовательность $\{x_n, n = 1, 2, \dots\}$ является строго возрастающей

B существует такое число $x_1 > 0$, что последовательность $\{x_n, n = 1, 2, \dots\}$ является строго убывающей

C существует такое число $x_1 > 0$, что последовательность $\{x_n, n = 1, 2, \dots\}$ является неограниченной

D при любом $x_1 > 0$ последовательность $\{x_n, n = 1, 2, \dots\}$ является сходящейся

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

16. Пусть для каждого $x \in \mathbf{R}$

$$f_n(x) = n \log_{x^2+x+2}\left(1 + \frac{1}{n}\right)$$

и пусть M — множество тех x, для которых существует конечный предел $\lim\limits_{n\to\infty} f_n(x)$. Для всех $x \in M$ обозначим $f(x) = \lim\limits_{n\to\infty} f_n(x)$. Какие из следующих утверждений (I, II, III) истинные?

I. $M = \mathbf{R}$.

II. График функции $f(x)$ имеет горизонтальную асимптоту.

III. График функции $f(x)$ имеет вертикальную асимптоту.

A только I

B только I и II

C только I и III

D только II и III

E I, II и III

17. Длина ребра куба увеличивается со скоростью, пропорциональной поверхности куба. В момент времени $t = 0$ длина ребра равна 1, а в момент $t = 2$ длина ребра равна 2. Длина ребра в момент времени $t = 3$ равна

- A 4
- B 5
- C 10
- D 15
- E 18

18. Интеграл $\int_0^{\pi/2} \frac{dx}{1+\cos x}$ равен

- A $1/2$
- B $\ln 2$
- C 1
- D $2\ln 2$
- E не равен ни одному из вариантов A, B, C, D

19. Интеграл $\int_0^{\pi/2} \frac{dx}{1+\sin x}$ равен

- A $1/2$
- B $\ln 2$
- C 1
- D $2\ln 2$
- E не равен ни одному из вариантов A, B, C, D

20. Предел $\lim\limits_{x\to 0} \frac{e^{\operatorname{tg} x}-1}{e^{\sin x}-1}$ равен

- A -1
- B 0
- C $1/e$
- D 1
- E не равен ни одному из вариантов A, B, C, D

21. Предел $\lim\limits_{x\to 0} x^2 \operatorname{ctg} x^2$ равен

A -1

B 0

C 1

D $\pi^2/4$

E не равен ни одному из вариантов A, B, C, D

22. Числовая последовательность $\{a_n, n = 1, 2, \dots\}$ задана формулами

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

Тогда предел $\lim\limits_{n\to\infty} a_n$ равен

A -2

B -1

C 0

D 1

E 2

23. Пусть $S(a)$ есть площадь фигуры, заключенной между линиями $x + y = 1$ и $x^{1/a} + y^{1/a} = 1$, где $x \geqslant 0$, $y \geqslant 0$, $a > 0$. Тогда предел $\lim\limits_{a\to+\infty} S(a)$ равен

A $1/4$

B $1/2$

C 1

D $3/2$

E 2

24. Пусть M есть подмножество $\mathbf{R}$, заданное формулой

$$M = \left\{x \neq 0\colon \sin\left(\frac{1}{x}\right) \geqslant 0\right\}.$$

Какие из следующих утверждений (I, II, III) являются ***ложными***?

I. Точка $x = 0$ является единственной предельной точкой множества M.

II. Замыкание множества M совпадает с множеством M.

III. Для всякого $\varepsilon > 0$ существует точка x, не принадлежащая M, такая что $|x| < \varepsilon$.

A только I и II

B только I и III

C только II и III

D только I, II и III

E ни одно из I, II и III

25. Пусть A — матрица размеров $m \times n$ с линейно зависимыми строками. Тогда

A если у системы $Ax = 0$ существует только нулевое решение, то $m > n + 1$

B если у системы $Ax = 0$ существует ненулевое решение, то $m < n + 1$

C если $m > n + 1$, то ранг матрицы A равен n

D если $m < n + 1$, то ранг матрицы A меньше n

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

26. Пусть A и B — матрицы размеров $m \times n$. Известно, что любой вектор $z \in \mathbf{R}^n$ представим в виде $z = x + y$, где $Ax = 0$ и $By = 0$. Тогда

A если n нечетное, то ранги матриц A и B различные

B если существует ненулевой $x \in \mathbf{R}^n$, при котором $Ax = 0$ и $Bx = 0$, то сумма рангов матриц A и B строго больше n

C если объединенная система $\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} x = 0$ имеет только нулевое решение, то сумма рангов матриц A и B равна n

D если существует $x \in \mathbf{R}^n$, при котором $Ax = 0$ и $Bx = 0$, то сумма рангов матриц A и B строго меньше n

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

27. Пусть A и B — матрицы размеров $m \times n$, a и b — столбцы длины m, x — искомый столбец длины n. Тогда

A если система $(A + B)x = (a + b)$ не имеет решения, то не имеет решения хотя бы одна из систем $Ax = a$ и $Bx = b$

B если объединенная система $\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} x = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$ не имеет решения, то не имеет решения хотя бы одна из систем $Ax = a$ и $Bx = b$

C если система $(A + B)x = (a + b)$ имеет решение, то имеют решения обе системы $Ax = a$ и $Bx = b$

D если $n = m$ и система $Ax = a$ совместна, а система $(AB)x = a$ несовместна, то существует b, при котором система $Bx = b$ несовместна.

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

28. Пусть A и B — две квадратные матрицы порядка $n \geqslant 6$, а через $\det X$ обозначается определитель квадратной матрицы X. Тогда

A если $\det(A - B) \neq 0$, то $\det A \neq \det B$

B если A и B отличаются лишь перестановкой строк, то $\det A = \det B$

C если $\det B \neq 0$, а $\det(AB) = 0$, то $\det A = 0$

D если $\det A \neq 0$ или $\det B \neq 0$, то $\det(AB) \neq 0$

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

29. Пусть A — квадратная матрица порядка $n \geqslant 6$. Тогда

A линейная оболочка столбцов матрицы A совпадает с линейной оболочкой столбцов матрицы A^2

B линейная оболочка столбцов матрицы A не совпадает с множеством решений системы $Ax = 0$

C существует ненулевое решение системы $Ax = 0$, являющееся линейной комбинацией столбцов матрицы A

D не существует ненулевого решения системы $Ax = 0$, являющегося линейной комбинацией столбцов матрицы A

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

30. Пусть A — вещественная квадратная матрица порядка $n \geqslant 6$. Тогда

A если $\lambda < 0$ является собственным числом матрицы A^2, то матрица A симметричная

B если у матрицы A нет вещественных собственных чисел, то инвариантными подпространствами для нее являются только все $\mathbf{R}^n$ и нульмерное подпространство

C если у матрицы A нет вещественных собственных чисел, то матрица A невырожденная

D если у матрицы A имеется полная система (вещественных) собственных векторов, то она симметричная

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

31. Пусть A и B — вещественные квадратные матрицы порядка $n \geqslant 6$, причем A — симметричная матрица. Тогда

A если для некоторого $x \in \mathbf{R}^n$ $Ax \neq 0$, то $x^{\mathsf{T}}Ax \neq 0$

B если матрица B ненулевая, то существует $x \in \mathbf{R}^n$, при котором $x^{\mathsf{T}}Bx \neq 0$

C если матрица $B^{\mathsf{T}}AB$ не является положительно определенной, то и матрица A не является положительно определенной

D если матрица B симметричная и положительно полуопределенная, а квадратичная форма $x^{\mathsf{T}}ABx$ не является положительно полуопределенной, то и матрица A не является положительно полуопределенной

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

32. Пусть A — матрица размеров $m \times n$, $a \in \mathbf{R}^m$, и M — множество решений системы $Ax = a$. Тогда

A если множество M ограничено, то $m = n$

B если множество M неограничено, то $m < n$

C если столбцы матрицы A линейно зависимые, то множество M неограничено

D если столбцы матрицы A линейно независимые, то множество M ограничено

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

33. Последовательность вещественных чисел a_n сходится. Тогда

A $[a_n]$ сходится, где $[x]$ — это целая часть вещественного числа x (наибольшее целое число, не превосходящее x)

B $\{a_n\}$ сходится, где $\{x\}$ — это дробная часть вещественного числа x (разность x и целой части x)

C $[a_n] + \{a_n\}$ сходится

D $[a_n] - \{a_n\}$ сходится

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

34. Функция $f(x)$ определена на $\mathbf{R}$ и является строго возрастающей. Тогда

A Последовательность a_n, заданная рекуррентно как $a_1 = 1$, $a_n = f(a_{n-1})$ при $n \geqslant 2$, сходится

B Для любой сходящейся последовательности a_n последовательность $f(a_n)$ тоже сходится

C Для любой сходящейся строго возрастающей последовательности a_n последовательность $f(a_n)$ тоже сходится

D Для любой расходящейся последовательности a_n последовательность $f(a_n)$ тоже расходится

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

35. Пусть $f(x)$, $g(x)$ — две монотонные функции, заданные на $\mathbf{R}$, причем $f(x)$ — строго возрастающая, а $g(x)$ — строго убывающая функция. Тогда

A композиция $f(g(x))$ возрастает

B одна из композиций $f(g(x)), g(f(x))$ возрастает

C функция $g(g(x))$ возрастает

D обратная функция $g^{-1}(x)$ возрастает

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

36. Степенной ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_n x^n$ имеет радиус сходимости R. Тогда

A ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_{n^2} y^n$ имеет радиус сходимости R

B если $R > 0$, то ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_{n^2} y^n$ расходится везде, кроме нуля

C ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_{n^2} y^n$ либо везде сходится, либо везде, кроме нуля, расходится

D если $R \neq 1$, то ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_{n^2} y^n$ либо везде сходится, либо везде, кроме нуля, расходится

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

37. Последовательность вещественных чисел $\{a_n, n = 1, 2, \ldots\}$ сходится. Рассмотрим три утверждения: (i) последовательность $\{(-1)^n a_n\}$ расходится; (ii) последовательность $\{|a_n|\}$ сходится; (iii) последовательность $\{a_n - a_{n-1}\}$ сходится к нулю. Тогда

A утверждение (i) истинное

B одно из утверждений (ii) и (iii) ложное

C среди утверждений (i)–(iii) ровно одно истинное

D из утверждения (ii) следует утверждение (i)

E либо верно (i), либо верно (iii), но не одновременно

38. Рассмотрим два сходящихся ряда $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n$ и $\sum\limits_{n=1}^{\infty} b_n$. Тогда

A ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n b_n$ сходится

B ряд $a_1 + b_2 + a_3 + b_4 + a_5 + \ldots$ сходится

C последовательность $a_n + \ldots + a_{2n}$ сходится к нулю

D существует такое целое число $k > 0$, что ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n^k$ сходится абсолютно

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

39. Рассмотрим сходящийся ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n$ и последовательность $\{b_n, n = 1, 2, \ldots\}$. Тогда

A если последовательность $\{b_n\}$ ограничена, то ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n b_n$ сходится

B если $a_n \geqslant 0$ при всех n, а последовательность $\{b_n\}$ ограничена, то ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n b_n$ сходится

C если ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n b_n$ сходится, то последовательность $\{b_n\}$ ограничена

D если последовательность $\{b_n\}$ ограничена, то ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n b_n x^n$ имеет такой же радиус сходимости, как и ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n x^n$

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

40. Задана функция $f(x, y)$, определенная на $\mathbf{R}^2$. Известно, что она не убывает по x при фиксированном y и не возрастает по y при фиксированном x. Тогда

A не существует функции $f(x, y)$, удовлетворяющей сформулированным условиям

B функция $f^2(x)$ возрастает вдоль любого луча, исходящего из нуля

C последовательность $f(-n, n)$ монотонная

D уравнение $f(x, y) = f(0, 0)$ неявно определяет строго убывающую функцию $y = g(x)$

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

2.1.2 Вторая часть теста

1. Пусть вещественная матрица A имеет размеры $m \times 4$. Известно, что система $Ax = 0$ имеет в качестве множества решений линейную оболочку системы столбцов

$$\left\{ \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} \right\}.$$

Известно также, что матрица $B = AA^T$ ортогональная, а матрица $P = A^T A$ задает ортогональный проектор (через A^T обозначена матрица, транспонированная к A). Тогда

а) строки матрицы A линейно зависимые;

Да Нет

б) строки матрицы A линейно независимые;

Да Нет

в) строки матрицы A ортонормированные;

Да Нет

г) сумма элементов в каждой строке матрицы A равна нулю;

Да Нет

д) сумма элементов в каждой строке матрицы A отлична от нуля;

Да Нет

е) ранг матрицы P равен трем;

Да Нет

ж) сумма диагональных элементов матрицы P равна 2;

Да Нет

з) сумма диагональных элементов матрицы P равна -2;

Да Нет

2. Пусть

$$f_n(x) = \sqrt[n]{e^{nx} + e^{2nx} + e^{3nx}}, \ g_n(x) = \frac{1 + e^{x-1} + e^{2(x-1)} + \ldots + e^{n(x-1)}}{1 + x + x^2 + \ldots + x^n}, \ h(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{(n-1)!}.$$

Обозначим

$$M_1 = \left\{x\colon x \leqslant 0 \text{ и существует } \lim_{n\to\infty} f_n(x)\right\},$$

$$M_2 = \left\{x\colon 0 < x < 1 \text{ и существует } \lim_{n\to\infty} g_n(x)\right\},$$

$$M_3 = \left\{x\colon x \geqslant 1 \text{ и ряд } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{(n-1)!} \text{ сходится}\right\}.$$

Функция $F(x)$ определяется соотношениями

$$F(x) = \begin{cases} ax + b \cdot \lim\limits_{n\to\infty} f_n(x), & \text{при } x \in M_1, \\ \lim\limits_{n\to\infty} g_n(x), & \text{при } x \in M_2, \\ c + d \cdot h(x), & \text{при } x \in M_3, \end{cases}$$

где a, b, c, d — некоторые числа. Тогда

а) функция $F(x)$ определена при любом вещественном x;

Да Нет

б) на множестве M_2 функция $F(x)$ строго возрастает;

Да Нет

в) существуют такие числа a, b, что функция $F(x)$ дифференцируема на $M_1 \cup M_2$;

Да Нет

г) существует конечный предел $\lim\limits_{x\to 1-0} F'(x)$;

Да Нет

д) при любых $a \neq 0$, $d \neq 0$ и при любых b, c график функции $F(x)$ имеет наклонную асимптоту;

Да Нет

е) при $c = 0$ существует такое число d, что функция $F(x)$ непрерывна на $M_2 \cup M_3$, и точка $x = 1$ есть точка ее локального максимума;

Да Нет

ж) существуют такие числа c, d, что функция $F(x)$ дифференцируема на $M_2 \cup M_3$;

Да Нет

з) существуют такие числа a, b, c, d, что график функции $F(x)$ имеет вертикальную асимптоту.

Да Нет

3. Даны функция $f(x, y) = e^{-(3x^2+2y^2)}$ и множество $M = \{(x, y)\colon (x+y)(x^2+y^2-1) = 0\}$. Тогда а) функция $f(x, y)$ достигает наименьшего значения на множестве M ровно в одной точке;

Да Нет

б) функция $f(x, y)$ достигает наименьшего значения на множестве M ровно в двух точках;

Да Нет

в) функция $f(x, y)$ не достигает наименьшего значения на множестве M;

Да Нет

г) функция $f(x, y)$ достигает наибольшего значения на множестве M ровно в одной точке;

Да Нет

д) функция $f(x, y)$ достигает наибольшего значения на множестве M ровно в двух точках;

Да Нет

е) функция $f(x, y)$ не достигает наибольшего значения на множестве M;

Да Нет

ж) точка $(1, 0)$ является точкой локального минимума функции $f(x, y)$ на множестве M;

Да Нет

з) точка $(0, 1)$ является точкой локального максимума функции $f(x, y)$ на множестве M.

Да Нет

4. Про функцию $f(x)$, заданную на $\mathbf{R}$, известно, что при всех x, y, таких что $x < y < 0$, выполняется неравенство $f(x) - f(y) \leqslant (x - y)^3$. Тогда

а) функция $f(x)$ монотонна при $x < 0$;

Да Нет

б) функция $f(x)$ строго возрастает при $x < 0$;

Да Нет

в) функция $f(x) = x^3$ удовлетворяет сформулированному в условии требованию;

Да Нет

г) функция $f(x) = x^3$ удовлетворяет неравенству $f(x) - f(y) \leqslant (x-y)^3$ при всех $x < y$.

Да Нет

5. Пусть функция $f(x)$ определена на $\mathbf{R}$ и удовлетворяет другому требованию, а именно при всех x, y, таких что $x > y$, выполняется неравенство $f(x) - f(y) \leqslant \leqslant (x-y)^3$. Тогда

а) функция $f(x)$ непрерывна на всем $\mathbf{R}$;

Да Нет

б) точка $x = 0$ является точкой строгого локального максимума функции $f(x)$;

Да Нет

в) при всех x, y, таких что $x > y$, выполняется неравенство $f(x) - f(y) \leqslant (x-y)^2$;

Да Нет

г) не существует ни одной функции, удовлетворяющей требованию $f(x) - f(y) \leqslant \leqslant (x-y)^3$ при всех $x, y \in \mathbf{R}$.

Да Нет

6. Максимальное (непродолжаемое) решение $y(x)$ дифференциального уравнения

$$y' = \frac{\cos x}{2y}$$

удовлетворяет условию $y(0) = 1$. Пусть $g(x) = \dfrac{1}{y(x)}$. Тогда

а) областью определения функции $y(x)$ является интервал $(-\infty, +\infty)$;

Да Нет

б) область определения функции $g(x)$ совпадает с областью определения функции $y(x)$;

Да Нет

в) функция $y(x)$ ограничена на своей области определения;

Да Нет

г) функция $g(x)$ ограничена на своей области определения;

Да Нет

д) функция $y(x)$ периодическая на своей области определения;

Да Нет

е) функция $g(x)$ имеет вертикальную асимптоту;

Да Нет

ж) для всякого натурального числа N найдется $\delta > 0$, такое что число решений уравнения $g(x) = \delta$ больше N;

Да Нет

з) существует $\delta > 0$, такое что число решений уравнения $y(x) = \delta$ и $g(x) = \delta$ одинаковое.

Да Нет

2.2 Ответы и решения теста

2.2.1 Ответы на вопросы первой группы

1. E. **2.** C. **3.** E. **4.** C. **5.** E. **6.** B. **7.** E. **8.** A. **9.** A. **10.** D. **11.** B. **12.** E. **13.** B. **14.** C. **15.** D. **16.** B. **17.** A. **18.** C. **19.** C. **20.** D. **21.** C. **22.** E. **23.** B. **24.** A. **25.** D. **26.** C. **27.** D. **28.** C. **29.** E. **30.** C. **31.** E. **32.** D. **33.** C. **34.** C. **35.** C. **36.** E. **37.** E. **38.** C. **39.** B. **40.** C.

2.2.2 Решения задач второй группы

Задача 1. Заметим, что матрица $B = AA^T$ ортогональная, симметричная и положительно определенная. Существует единственная такая матрица — единичная. Значит $B = I$. Элементы матрицы B есть скалярные произведения строк матрицы A. Поэтому, так как B единичная матрица, то строки матрицы A ортонормированные и, как следствие, линейно независимые (ответы на вопросы а) — «нет», б) — «да», в) — «да»).

Ранг матрицы A равен 2 в силу того, что пространство решений системы $Ax = 0$ имеет размерность 2 (размерность столбца x равна 4).

Так как столбец $(1, 1, 1, 1)^T$ является решением системы $Ax = 0$, а произведение строки матрицы A на этот столбец равно сумме элементов этой строки, то сумма элементов в каждой строке матрицы A равна нулю (ответы на вопросы г) — «да», д) — «нет»).

Ранг матрицы $P = A^TA$ совпадает с рангом матрицы A, который равен 2 (ответ на вопрос е) — «нет»).

Сумма диагональных элементов матрицы P (или след матрицы P) равна сумме ее собственных чисел. Так как P является проектором ранга 2, то у P собственное число 1 имеет кратность 2, и собственное число 0 имеет кратность 2. Следовательно, $\operatorname{tr} P = 2$ (ответы на вопросы ж) — «да», з) — «нет»).

Задача 2. Найдем более явно функцию $F(x)$. Пусть $x < 0$. Тогда $\lim\limits_{n\to\infty} \sqrt[n]{e^{nx}+e^{2nx}+e^{3nx}} = \lim\limits_{n\to\infty} e^x \sqrt[n]{1+e^{nx}+e^{2nx}} = e^x$. Если $x = 0$, то $f_n(0) = \sqrt[n]{3}$, и $\lim\limits_{n\to\infty} f_n(0) = 1$. Таким образом,

$$M_1 = (-\infty, 1] \text{ и } F(x) = ax + be^x,\ x \in M_1. \tag{1}$$

Пусть $0 < x < 1$. Тогда $0 < e^{x-1} < 1$. По формуле для суммы бесконечно убывающей геометрической прогрессии получаем: $\lim\limits_{n\to\infty} g_n(x) = \dfrac{1-x}{1-e^{x-1}}$. Следовательно,

$$M_2 = (0, 1) \text{ и } F(x) = \frac{1-x}{1-e^{x-1}},\ x \in M_2. \tag{2}$$

Наконец, $h(x) = \sum\limits_{n=1}^{\infty} \dfrac{x^n}{(n-1)!} = x \sum\limits_{m=0}^{\infty} \dfrac{x^m}{m!} = xe^x$ при любом x. Значит,

$$M_3 = [1, +\infty) \text{ и } F(x) = c + dxe^x,\ x \in M_3. \tag{3}$$

Следовательно, на вопрос а) ответ «да».

Из (2) вытекает, что $F(x)$ непрерывна на M_2 и $F(0+) = \dfrac{e}{e-1} > F(1-) = 1$. Значит, на вопрос б) ответ «нет».

В силу (1) $F(0) = F(0-) = b$, $F'(0-) = a + b$, а в силу (2)

$$F(0+) = \frac{e}{e-1},\ F'(x) = \frac{2e^{x-1} - xe^{x-1} - 1}{(1-e^{x-1})^2},\ x \in M_2 \tag{4}$$

и

$$\lim_{x\to 0+} F'(x) = \frac{2e - e^2}{(e-1)^2}.$$

Поэтому если числа a, b выбраны так, что выполняются равенства

$$b = \frac{e}{e-1},\ a + b = \frac{2e-e^2}{(e-1)^2}, \tag{5}$$

то соответствующая функция $F(x)$ дифференцируема в точке 0, а значит и на множестве $M_1 \cup M_2$. Нетрудно проверить, что решение системы (5) есть

$$a = \frac{3e}{(e-1)^2},\ b = \frac{e}{e-1}.$$

Ответ на вопрос в) — «да».

Применяя, например, правило Лопиталя, в силу (4) получаем $\lim\limits_{x\to 1-} F'(x) = -1/2$. Ответ на вопрос г) — «да».

Из (1) следует, что если $a \neq 0$, то $\lim\limits_{x\to-\infty} (F(x) - ax) = 0$ при любых b, c, d, значит у графика есть наклонная асимптота. Ответ на вопрос д) — «да».

При $c = 0$ в силу (3) $F(1) = F(1+) = de$, а из (2) вытекает, что $F(1-) = 1$. Поэтому для непрерывности функции $F(x)$ на множестве $M_2 \cup M_3$ необходимо и достаточно, чтобы $d = 1/e$. Но функция $F(x) = xe^{x-1}$ на множестве M_3 возрастает, и точка $x = 1$ не является точкой ее локального максимума. Ответ на вопрос е) — «нет».

Имеем $F(1-) = 1$, $\lim\limits_{x\to 1-} F'(x) = -1/2$, $F(1) = F(1+) = c + de$, $F'(1+) = 2de$. Поэтому для дифференцируемости $F(x)$ в точке 1 необходимо и достаточно выполнения равенств

$$c + de = 1,\ \ 2de = -1/2. \tag{6}$$

Решением системы (6) являются числа $c = 5/4$, $d = -1/4e$. Ответ на вопрос ж) — «да».

Выше было установлено, что при любых a, b, c, d функция $F(x)$ в каждой точке x имеет конечные односторонние пределы. Ответ на вопрос з) — «нет».

Задача 3. Заметим, что множество M является объединением прямой $x + y = 0$ и окружности $x^2 + y^2 = 1$. Исследуем поведение функции на каждом из этих множеств.

Прямая: выразим y через x как $y = -x$ и подставим в функцию $f(x, y)$. Получим $f(x, y(x)) = e^{-5x^2}$. Эта функция имеет единственную точку локального максимума $x = 0$ и при $x \to \pm\infty$ стремится к 0. Соответственно, функция $f(x, y)$ на прямой $x + y = 0$ имеет единственную точку локального максимума $x = y = 0$ (в которой $f(0, 0) = 1$) и стремится к 0 при $x, y \to \infty$.

Окружность: выразим y^2 через x как $y^2 = 1 - x^2$ и подставим в функцию $f(x, y)$. Получим $f(x, y(x)) = e^{-(3x^2+2y^2)} = e^{-(3x^2+2(1-x^2))} = e^{-(2+x^2)}$. Рассмотрим эту функцию на отрезке $[-1, 1]$. Она имеет единственную точку локального максимума $x = 0$ и две точки локального минимума $x = \pm 1$. Соответственно, функция $f(x, y)$ на окружности $x^2 + y^2 = 1$ имеет две точки локального максимума $x = 0$, $y = \pm 1$ (в которых значение $f(x, y)$ равно e^{-2}) и две точки локального минимума $x = \pm 1$, $y = 0$ (в которых значение $f(x, y)$ равно e^{-3}).

Заметим, что прямая и окружность пересекаются в точках $\left(1\big/\sqrt{2}, -1\big/\sqrt{2}\right)$ и $\left(-1\big/\sqrt{2}, 1\big/\sqrt{2}\right)$, не являющихся критическими точками ни для одного из множеств, значит все рассмотренные точки локального экстремума являются таковыми и для всего множества M.

Таким образом, ответы на вопросы а) — «нет», б) — «нет», в) — «да» (нижняя грань равна 0 и не достигается), г) — «да», д) — «нет», е) — «нет» (наибольшее значение равно 1 и достигается в точке $x = y = 0$), ж) — «да», з) — «да».

Задача 4. (а–б) Верно: при $x < y < 0$ имеем $(x - y)^3 < 0$, так что $f(x) - f(y) \leqslant (x - y)^3 < 0$, и следовательно $f(x) < f(y)$ — строго возрастает, в частности, монотонна;

(в) Верно: следует из цепочки неравенств, справедливой при $x < y < 0$:

$$\begin{aligned}3xy \geqslant 0 \Leftrightarrow x^2 + xy + y^2 &\geqslant x^2 - 2xy + y^2 \Rightarrow \\ &\Rightarrow (x-y)(x^2+xy+y^2) \leqslant (x-y)(x^2-2xy+y^2) \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow x^3 - y^3 \leqslant (x-y)^3,\end{aligned}$$

что и требовалось доказать (при домножении на отрицательное число $(x-y)$ знак неравенства меняется);

(г) Неверно, например для $x = -1$, $y = 1$. В этом случае

$$f(x) - f(y) = x^3 - y^3 = (-1) - 1 = -2 > -8 = ((-1) - 1)^3 = (x-y)^3.$$

Задача 5. Докажем вспомогательное утверждение: функция удовлетворяет соотношению из условия задачи тогда и только тогда, когда она является невозрастающей.

Если $f(x)$ нигде не возрастает, то при любых $x > y$ имеем $f(x) - f(y) \leqslant 0 < (x-y)^3$.

Обратно, предположим, что функция удовлетворяет этому соотношению, и покажем, что для любых x, y таких, что $x > y$, должно быть $f(x) \leqslant f(y)$.

Для этого рассмотрим любое N, и разобьём отрезок $[x, y]$ на N равных частей, обозначив точки деления за $x = x_0, x_1, \ldots, x_N = y$. Выпишем цепочку тождеств и неравенств:

$$\begin{aligned}f(y) - f(x) = \sum_{i=1}^{N} \left(f(x_i) - f(x_{i-1})\right) &\leqslant \\ \leqslant \sum_{i=1}^{N} (x_i - x_{i-1})^3 &= N\left(\frac{x-y}{N}\right)^3 = \frac{(x-y)^3}{N^2}.\end{aligned}$$

В силу произвольности N, правая часть может быть сделана сколь угодно близкой к нулю, а левая часть от N не зависит. Это означает, что левая часть не может быть положительной.

Теперь по пунктам:

(а) нет, не обязательно. Например, $f(x) = -[x]$, где $[x]$ обозначает целую часть числа, является разрывной, но невозрастающей, и поэтому удовлетворяет требованию;

(б) не обязательно, например это неверно для $f(x) = -x$;

(в) верно, так как для невозрастающей функции при любых $x > y$ имеем $f(x) - f(y) \leqslant 0 < (x-y)^2$;

(г) верно. В самом деле, по предыдущей задаче, такая функция является строго возрастающей при $x < 0$, а по условию этой задачи она нигде не возрастает. Полученное противоречие показывает, что такой функции существовать не может.

Задача 6. Исходное уравнение является уравнением с разделяющимися переменными. Решая его стандартным образом, поучаем общее решение $y^2 = \sin x + C$, где C — произвольная постоянная. Учитывая начальное условие, получаем, что в окрестности точки $x = 0$ решение совпадает с функцией $f(x) = \sqrt{1 + \sin x}$. Поскольку $f\left(-\dfrac{\pi}{2}\right) = f\left(\dfrac{3\pi}{2}\right) = 0$, то решение не может быть продолжено за интервал $\left(-\dfrac{\pi}{2}, \dfrac{3\pi}{2}\right)$. Таким образом, максимальное решение исходной задачи Коши — это функция

$$y(x) = \sqrt{1 + \sin x}, \ x \in \left(-\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}\right).$$

Соответственно,

$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{1 + \sin x}}, \ x \in \left(-\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}\right).$$

Ясно, что $\lim\limits_{x \to -\pi/2} g(x) = \lim\limits_{x \to 3\pi/2} g(x) = +\infty$.

Отсюда сразу следуют ответы: а) — «нет», б) — «да», в) — «да», г) — «нет», д) — «нет», е) — «да»

Нетрудно проверить, что функция $g(x)$ на промежутке $\left(-\dfrac{\pi}{2}, \dfrac{\pi}{2}\right)$ убывает от $+\infty$ до $1/\sqrt{2}$, а на промежутке $\left[\dfrac{\pi}{2}, \dfrac{3\pi}{2}\right)$ возрастает от $1/\sqrt{2}$ до $+\infty$. Поэтому при любом $\delta > 0$ число решений уравнения $g(x) = \delta$ не превосходит 2. Ответ на вопрос ж) — «нет».

При $\delta = 1$ каждое из уравнений $y(x) = 1$ и $g(x) = 1$ имеют два решения $x = 0$ и $x = \pi$. На самом деле, элементарный анализ функций $y(x)$, $g(x)$ показывает, что при $\delta \in \left(\dfrac{1}{\sqrt{2}}, \sqrt{2}\right)$ каждое уравнение $y(x) = \delta$, $g(x) = \delta$ имеет два решения. Ответ на вопрос з) — «да».

3 Вступительный экзамен 2009 г.

Экзамен по математике проводился в форме письменного теста. Продолжительность экзамена составляла 4 часа, максимальная оценка — «12».

Тест состоял из двух частей. Первая часть содержала вопросы и задачи по математическому анализу и линейной алгебре, в каждом следовало выбрать один правильный ответ из пяти предложенных вариантов.

Вторая часть содержала вопросы, объединенные в блоки. В каждом блоке была вводная часть, описывающая условия, в рамках которых надлежало ответить на вопросы данного блока. Каждый вопрос требовал ответа «Да» или «Нет».

Правила оценивания теста следующие

Первая часть:

* правильный ответ — «$+1$»
* неправильный ответ — «-0.25»
* отсутствие ответа — «0»

Вторая часть:

* правильный ответ — «$+1$»
* неправильный ответ — «-1»
* отсутствие ответа — «0»

Максимальное количество баллов, которое можно было получить за каждую часть теста, одинаково. Оценка за экзамен определялась суммой баллов, полученных за первую и за вторую части теста.

3.1 Тест

3.1.1 Первая часть теста

1. Дана задача Коши $y' = -xy^3$, $y(-1) = -1$. Предел максимального (непродолжаемого) решения $y(x)$ при $x \to +\infty$ равен

A -1

B 0

C $+\infty$

D решение продолжается до $+\infty$, и предел не существует

E решение не продолжается до $+\infty$

2. Максимальное (непродолжаемое) решение задачи Коши $y' = e^{-y/x} + \dfrac{y}{x}$, $y(e) = 0$, определено на множестве

A $(2, +\infty)$

B $(1, +\infty)$

C $(0, +\infty)$

D $(-\infty, 0) \cup (0, +\infty)$

E $(-\infty, +\infty)$

3. Значение максимального (непродолжаемого) решения задачи Коши $y' = -y^2 \cos x$, $y(0) = 1/2$, в точке $x = \pi/2$ равно

A $-1/2$

B $-1/3$

C 0

D $1/3$

E $1/2$

4. Функция $f(x, y) = x^2 + 4y^2$ на множестве $\{(x, y)\colon 4x^2 + y^2 = 4\}$

A достигает наименьшего значения ровно в одной точке

B достигает наименьшего значения ровно в двух точках

C достигает наибольшего значения ровно в трех точках

D достигает наибольшего значения ровно в четырех точках

E не достигает наименьшего и наибольшего значений

5. Функция $f(x, y) = x^2 + (y - 1)^2$ на множестве $\{(x, y)\colon y^2 - x^2 = 1\}$

A достигает наибольшего значения в единственной точке

B достигает наибольшего значения ровно в двух точках

C достигает наименьшего значения в единственной точке

D достигает наименьшего значения ровно в двух точках

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

6. Пусть f — функция, непрерывная на $(0, 1)$, и $\Gamma = \{(x, y) \in \mathbf{R}^2\colon x \in (0, 1), y = f(x)\}$ — ее график. Тогда

A	Γ — замкнутое множество

B	Γ — открытое множество

C	Γ — счетное множество

D	Γ — множество мощности континуума

E	все четыре утверждения A, B, C, D ложные

7. Пусть A — подмножество $\mathbf{R}$, все точки которого являются его предельными точками. Тогда

A	A — пустое множество

B	A — конечное множество

C	A — счетное множество

D	A — множество мощности континуума

E	все четыре утверждения A, B, C, D ложные

8. Пусть A — подмножество $\mathbf{R}$, множество предельных точек которого пустое. Тогда

A	множество A — пустое

B	множество граничных точек A — пустое

C	множество внутренних точек A — пустое

D	множество внешних точек A — пустое

E	все четыре утверждения A, B, C, D ложные

9. Пусть A и B — несовпадающие подмножества $\mathbf{R}$, и пусть их пересечение — непустое замкнутое множество. Тогда

A	A и B замкнутые

B	по крайней мере одно из множеств A или B не замкнутое

C	A и B открытые

D	по крайней мере одно из множеств A или B не открытое

E	все четыре утверждения A, B, C, D ложные

10. В пространстве $\mathbf{R}^n$ при $n \geqslant 6$ заданы два подпространства L_1 и L_2 с размерностями n_1 и n_2 соответственно, причем $\mathbf{R}^n = L_1 + L_2$. Тогда

A	если n нечетное, то $n_1 \neq n_2$

B	если сумма подпространств L_1 и L_2 не является прямой, то $n_1 + n_2 < n$

C	если $n_1 + n_2 \geqslant n$, то сумма подпространств L_1 и L_2 не является прямой

D	если пересечение подпространств L_1 и L_2 не пустое, то их сумма не является прямой

E	все четыре утверждения A, B, C, D ложные

11. У матрицы A размеров $m \times n$, где $m \geqslant 10$ и $n \geqslant 12$, сумма строк нулевая. Тогда

A	если $m \leqslant n + 1$, то столбцы матрицы A линейно зависимые

B	если $m \geqslant n + 1$, то столбцы матрицы A линейно независимые

C	если столбцы матрицы A линейно зависимые, то $m \leqslant n + 1$

D	если столбцы матрицы A линейно независимые, то $m \geqslant n + 1$

E	все четыре утверждения A, B, C, D ложные

12. Пусть A и B — матрицы размеров $m \times n$, где $m \geqslant 10$ и $n \geqslant 12$, a и b — столбцы длины m, а x — искомый столбец длины n. Тогда

A	если система $(A + B)x = (a + b)$ не имеет решения, то не имеет решения хотя бы одна из систем $Ax = a$ или $Bx = b$

B	если объединенная система $\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} x = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$ не имеет решения, то не имеет решения хотя бы одна из систем $Ax = a$ или $Bx = b$

C	если система $(A + B)x = (a + b)$ имеет решение, то имеют решения обе системы $Ax = a$ и $Bx = b$

D	если $n = m$ и одна из систем $(AB)x = a$ и $Ax = a$ имеет решение, а другая решения не имеет, то матрица B вырожденная

E	все четыре утверждения A, B, C, D ложные

13. Пусть A и B — две квадратные матрицы порядка $n \geqslant 10$, а через $\det X$ обозначается определитель любой квадратной матрицы X. Тогда

A	если $\det(A - B) \neq 0$, то $\det A \neq \det B$

B	если матрицы A и B отличаются друг от друга лишь перестановкой строк, то $\det A = \det B$

C	если $\det B \neq 0$ и $\det(AB) = 0$, то $\det A = 0$

D	если $\det A \neq 0$ или $\det B \neq 0$, то $\det(AB) \neq 0$

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

14. Пусть A — линейный оператор, действующий из пространства $\mathbf{R}^n$ в $\mathbf{R}^n$, где $n \geqslant 10$. Через $\operatorname{Ker} X$ и $\operatorname{Im} X$ будем обозначать ядро и образ оператора X. Тогда

A если $(\operatorname{Ker} A) + (\operatorname{Im} A) \neq \mathbf{R}^n$, то $(\operatorname{Ker} A) \cap (\operatorname{Im} A) \neq \{0\}$

B если сумма размерностей $\operatorname{Ker} A$ и $\operatorname{Im} A$ больше или равна n, то $(\operatorname{Ker} A) \cap$ $\cap (\operatorname{Im} A) = \{0\}$

C $\operatorname{Ker} A \neq \operatorname{Im} A$

D $\operatorname{Im} A^2 = \operatorname{Im} A$

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

15. Пусть в $\mathbf{R}^n$, где $n \geqslant 10$, введено стандартное скалярное произведение, и две вещественные квадратные матрицы A и B порядка n рассматриваются как линейные операторы в $\mathbf{R}^n$. Тогда

A если матрица A не задает оператор ортогонального проектирования, то $A^2 \neq A$

B если $A^2 \neq A$, то A не ортогональная матрица

C если A не задает оператор ортогонального проектирования, и ее характеристический многочлен имеет вид $(-1)^n\lambda^k(\lambda-1)^{n-k}$, где k — целое и $0 \leqslant k \leqslant n$, то матрица A не симметричная

D если матрица AB не задает оператор проектирования, то либо A, либо B тоже не задает оператор проектирования

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

16. Пусть A и B — вещественные квадратные матрицы порядка n, причем A симметричная. Тогда

A если для некоторого $x \in \mathbf{R}^n$ оказалось $Ax \neq 0$ и $x^T A x = 0$, то матрица A вырожденная

B если матрица B ненулевая, то существует $x \in \mathbf{R}^n$, при котором $x^T B x \neq 0$

C если матрица $B^T A B$ не является положительно определенной, то и матрица A не является положительно определенной

D если матрица B тоже симметричная, и обе матрицы A и B положительно полуопределенные, то квадратичная форма $x^T A B x$ положительно полуопределена

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

17. Линейный оператор A в пространстве $\mathbf{R}^3$ задан матрицей

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Тогда число инвариантных подпространств оператора A равно

A 0

B 1

C 2

D 3

E 4

18. Функция $f(x)$ строго убывает на интервале $(0, +\infty)$. Тогда

A у графика функции $f(x)$ есть вертикальная асимптота

B у графика функции $f(x)$ есть горизонтальная асимптота

C если $f(x)$ ограничена снизу, то у графика функции $f(x)$ есть горизонтальная асимптота

D функция $f(x)^2$ является убывающей функцией

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

19. Последовательность $\{a_n, n = 0, 1, 2, \dots\}$, где $a_n \geqslant 0$, такова, что ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} \sqrt{a_n}$ сходится. Тогда ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_n x^n$ имеет радиус сходимости

A равный 2

B не больший, чем 1/2

C не меньший, чем 2

D не меньший, чем 1

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

20. Ряды $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_{2n} x^{2n}$ и $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_{3n} x^{3n}$ имеют радиусы сходимости 2 и 3, соответственно. Тогда ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_n x^n$

A имеет радиус сходимости 2

B имеет радиус сходимости 3

C имеет радиус сходимости, не меньший 3

D имеет радиус сходимости, не больший 2

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

21. Последовательность $\{a_n, n = 1, 2, \ldots\}$ ограничена, а ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} b_n$ сходится. Тогда

A ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n b_n$ сходится

B если $a_n \geqslant 0$ при всех n, то ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n b_n$ сходится

C если $b_n \geqslant 0$ при всех n, то ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n b_n$ сходится

D если предел последовательности $\{a_n\}$ равен нулю, то ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n b_n$ сходится

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

22. Пусть функция $f\colon \mathbf{R} \to \mathbf{R}$ такова, что функция $f(x)^2$ строго монотонна на всей вещественной прямой. Тогда

A $f(x)$ монотонна

B уравнение $f(x) = 0$ не имеет решений

C $f(x)$ не достигает ни точной нижней, ни точной верхней грани

D $f(x)$ не меняет знак на всей прямой

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

23. Пусть $a_0 = a \in \mathbf{R}$, и далее рекуррентно, пока возможно, определяется $a_n = \ln a_{n-1}$ для $n \geqslant 1$. Тогда

A при любом достаточно большом a число a_n определено для всех n, и последовательность $\{a_n, n = 0, 1, 2, \ldots\}$ монотонна

B при любом достаточно большом a число a_n определено для всех n, и последовательность $\{a_n, n = 0, 1, 2, \ldots\}$ имеет предел

C при всех a, при которых число a_n определено для всех n, последовательность $\{a_n, n = 0, 1, 2, \ldots\}$ имеет предел

D существует такое N, что число a_N не определено ни при каком a

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

24. Дана последовательность $\{a_n, n = 1, 2, \ldots\}$. Тогда

A если для любого $n > 0$ выполняется равенство $a_{2n} = a_n$, то последовательность $\{a_n, n = 1, 2, \ldots\}$ постоянна

B если для любого $n > 0$ выполняется равенство $a_{2n} = a_n$, то последовательность $\{a_n, n = 1, 2, \ldots\}$ сходится

C если для любого $k > 1$ последовательность $\{a_{kn}, n = 1, 2, \ldots\}$ сходится, то $\{a_n, n = 1, 2, \ldots\}$ сходится

D если для любых $n, k > 0$ выполняется равенство $a_{kn} = a_n$, то последовательность $\{a_n, n = 1, 2, \ldots\}$ сходится

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

25. Пусть множество предельных точек последовательности $\{a_n, n = 1, 2, \ldots\}$ содержит все рациональные числа. Найдите ***ложное*** утверждение

A множество предельных точек последовательности $\{a_n, n = 1, 2, \ldots\}$ совпадает с множеством всех вещественных чисел

B любая последовательность, осуществляющая взаимно-однозначное соответствие между множеством натуральных и рациональных чисел, обладает указанным свойством

C последовательность $\{a_n, n = 1, 2, \ldots\}$ принимает все рациональные значения

D последовательность $\{a_n, n = 1, 2, \ldots\}$ немонотонна

E среди утверждений A, B, C, D есть ложные.

26. У множества $M \in \mathbf{R}$ существуют изолированные точки и существуют неизолированные точки. Тогда

A множество M неограниченное

B множество M замкнутое

C множество M не является открытым

D множество M конечное

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

27. Дано множество $M = \{(x, y) \colon y^2 = e^{-x^2}\}$ и функция $f(x, y) = e^{-x^2-y}$. Тогда

A функция $f(x, y)$ не ограничена на множестве M

B функция $f(x, y)$ достигает наименьшего значения на множестве M

C точка $(0, -1)$ является точкой локального минимума функции $f(x, y)$ на множестве M

D точка $(0, 1)$ является точкой локального максимума функции $f(x, y)$ на множестве M

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

28. Функция $f(x)$ задана на вещественной прямой и имеет конечную производную в точке x_0. Тогда

A существует окрестность точки x_0, такая что функция $f(x)$ равномерно непрерывна на ней

B если $f'(x_0) > 0$, то существует окрестность точки x_0, такая что функция $f(x)$ убывает на ней

C существует окрестность точки x_0, такая что функция $f(x)$ ограничена на ней

D существует окрестность точки x_0, такая что уравнение $f(x) = f(x_0)$ имеет конечное множество решений в ней

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

29. Пусть $\{x_n, n = 1, 2, \ldots\}$ — последовательность, и пусть $y_n = \dfrac{x_1 + \ldots + x_n}{n}$, $n \geqslant 1$. Тогда

A если последовательность $\{y_n, n = 1, 2, \ldots\}$ ограниченная, то последовательность $\{x_n, n = 1, 2, \ldots\}$ также ограниченная

B если последовательность $\{y_n, n = 1, 2, \ldots\}$ неограниченная, то последовательность $\{x_n, n = 1, 2, \ldots\}$ также неограниченная

C если последовательность $\{y_n, n = 1, 2, \ldots\}$ имеет предел, то последовательность $\{x_n, n = 1, 2, \ldots\}$ также имеет предел

D множества предельных точек последовательностей $\{x_n, n = 1, 2, \ldots\}$ и $\{y_n, n = 1, 2, \ldots\}$ совпадают

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

30. Дан функциональный ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty}(2x^n - x^{2n})$. Обозначим через M множество тех x, для которых этот ряд сходится, и для $x \in M$ положим $f(x) = \sum\limits_{n=0}^{\infty}(2x^n - x^{2n})$. Тогда

A множество M замкнуто

B	функция $f(x)$ на множестве M ограничена

C	ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty}(2x^n - x^{2n})$ равномерно сходится к функции $f(x)$ на интервале $(0,1)$

D	ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty}(2x^n - x^{2n})$ равномерно сходится к функции $f(x)$ на интервале $(-1,0)$

E	все четыре утверждения A, B, C, D ложные

31. Кривая на плоскости xOy задана уравнением $2x^2 + 3y^2 = 5$. Через точку $(1,1)$ проведена касательная к этой кривой. Площадь треугольника, образованного отрезками, отсекаемыми касательной на осях координат, и отрезком касательной, заключенным между осями координат, равна

A	25/12

B	20/3

C	21/16

D	26/15

E	другому числу, отличному от указанных в A, B, C, D

32. Функция $f(x)$ непрерывна на $[1,+\infty)$ и непрерывно дифференцируема на $(1,+\infty)$. Найдите ***ложное*** утверждение.

A	если существует конечный предел $\lim\limits_{x\to+\infty} f(x)$, то функция $f(x)$ равномерно непрерывна на $[1,+\infty)$

B	если график функции $f(x)$ имеет наклонную асимптоту $y = a + bx$, $b \neq 0$, то $\lim\limits_{x\to+\infty} f'(x) = b$

C	если существует $a > 1$, такое что производная $f'(x)$ ограничена на $(a,+\infty)$, то функция $f(x)$ равномерно непрерывна на $[1,+\infty)$

D	если функция $f(x)$ не убывает на $[1,+\infty)$, и $|f'(x)| \leqslant \dfrac{C}{x^2}$ при любом $x \in$ $\in [1,+\infty)$, где C — некоторая константа, то существует конечный предел $\lim\limits_{x\to+\infty} f(x)$

E	среди утверждений A, B, C, D есть ложные

33. Задана функциональная последовательность $f_n(x) = \dfrac{x^3}{n(1+x^2)}$, $n = 1, 2, \ldots$. Обозначим через M множество тех x, для которых существует предел $\lim\limits_{n\to\infty} f_n(x)$, и для $x \in M$ положим $f(x) = \lim\limits_{n\to\infty} f_n(x)$. Тогда

A	функция $f(x)$ является неограниченной на M функцией

B множество M ограничено

C последовательность $\{f_n(x), n = 1, 2, \ldots\}$ сходится к функции $f(x)$ равномерно на множестве M

D функция $f(x)$ является четной функцией

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

34. Интеграл $\int_0^1 xe^{-x}dx$ равен

A $1 - 2/e$

B $1 - 1/e$

C $1 + 1/e$

D $1 + 2/e$

E другому числу, отличному от указанных в A, B, C, D

35. Интеграл $\int_0^{\pi/2} (\sin^2 x + \sin x + 1)dx$ равен

A $3\pi/4 - 1$

B $3\pi/4$

C $3\pi/4 + 1$

D $9\pi^2/32 + 1$

E другому числу, отличному от указанных в A, B, C, D

36. Предел $\lim\limits_{x\to 0} \dfrac{\sin^{20}\left(\dfrac{\pi}{2}x\right)}{x^{20}}$ равен

A 0

B $\left(\dfrac{2}{\pi}\right)^{20}$

C 1

D $\left(\dfrac{\pi}{2}\right)^{20}$

E другому числу, отличному от указанных в A, B, C, D

37. Предел $\lim\limits_{x\to 0} \dfrac{x^2}{e^{2x} - 1}$ равен

A 0

B $1/2$

C 1

D 2

E другому числу, отличному от указанных в A, B, C, D

38. Числовая последовательность $\{a_n, n = 1, 2, \ldots\}$ задана формулами $a_1 = 2$, $a_{n+1} = 1 - 1/a_n$, $n \geqslant 1$. Тогда предел $\lim\limits_{n\to\infty} a_n$ равен

A $-(1+\sqrt{5})/2$

B $(1-\sqrt{5})/2$

C $(\sqrt{5}-1)/2$

D $(\sqrt{5}+1)/2$

E не существует

39. Предел $\lim\limits_{x\to 0} \dfrac{x - \sin x \cos x}{x(1-\cos x)}$ равен

A 0

B $3/4$

C 1

D $4/3$

E не существует

40. Неопределенный интеграл $\displaystyle\int \frac{dx}{x \ln x \ln\ln x \cdot \ldots \cdot \underbrace{\ln \ldots \ln x}_{n \text{ раз}}}$ равен

A $\underbrace{\ln \ldots \ln x}_{n-1 \text{ раз}} + C$

B $\underbrace{\ln \ldots \ln x}_{n \text{ раз}} + C$

C $\underbrace{\ln \ldots \ln x}_{n+1 \text{ раз}} + C$

D $\underbrace{\ln \ldots \ln x}_{n+2 \text{ раза}} + C$

E не существует ни при каких x

3.1.2 Вторая часть теста

1. Даны функция $f(x, y) = x^2(2x+3)$ и множество $M = \{(x, y)\colon (x^2-2x+y^2)(x^2+2x+ + y^2) = 0\}$. Тогда

а) функция $f(x, y)$ достигает наименьшего значения на множестве M ровно в одной точке;

Да Нет

б) функция $f(x, y)$ достигает наименьшего значения на множестве M ровно в двух точках;

Да Нет

в) наименьшее значение функции $f(x, y)$ на множестве M равно 0;

Да Нет

г) функция $f(x, y)$ достигает наибольшего значения на множестве M ровно в одной точке;

Да Нет

д) функция $f(x, y)$ достигает наибольшего значения на множестве M ровно в двух точках;

Да Нет

е) наибольшее значение функции $f(x, y)$ на множестве M равно 1;

Да Нет

ж) точка $(0, 0)$ является точкой локального минимума функции $f(x, y)$ на множестве M;

Да Нет

з) точка $(-1, -1)$ является точкой локального максимума функции $f(x, y)$ на множестве M.

Да Нет

2. Система уравнений $Bx = 0$, где $x \in \mathbf{R}^4$, имеет в качестве множества решений двумерное подпространство. Известно также, что матрица BB^T невырожденная, а матрица $A = B^T B$ задает проектор в $\mathbf{R}^4$. Тогда

а) матрица BB^T единичная;

Да Нет

б) образ матрицы B^T имеет размерность 2;

Да Нет

в) матрица A имеет ранг 3;

Да Нет

г) характеристический многочлен матрицы A имеет вид $p(\lambda) = \lambda^2(1-\lambda)^2$;

Да Нет

д) образы матриц B^T и A совпадают;

Да Нет

е) ядра матриц B и A совпадают;

Да Нет

ж) образ матрицы B^T и ядро матрицы B разлагают пространство $\mathbf{R}^4$ в прямую сумму;

Да Нет

з) матрица A не является ортогональной матрицей.

Да Нет

3. Две непрерывные функции $f(x)$ и $g(x)$ определены на вещественной прямой и таковы, что $f(x)$ строго убывает на всей прямой, а $g(x)$ строго возрастает на всей прямой. Тогда

а) если функция $f(x) + g(x) = \text{const}$, то функция $f(x)g(x)$ монотонна;

Да Нет

б) если функция $f(x) + g(x) = \text{const}$, то функция $f(x)g(x)$ немонотонна;

Да Нет

в) если функция $f(x)g(x)$ периодична и $f(x) \to 0$ при $x \to +\infty$, то $g(x) \to +\infty$ при $x \to +\infty$;

Да Нет

г) если функция $f(x) + g(x)$ периодична и $g(x) \to +\infty$ при $x \to +\infty$, то $f(x) \to 0$ при $x \to +\infty$;

Да Нет

д) если функция $f(x) + g(x)$ периодична и $g(x) \to +\infty$ при $x \to +\infty$, то $f(x) \to -\infty$ при $x \to +\infty$;

Да Нет

е) если функция $f(x)g(x)$ периодична, то она нигде не обращается в ноль;

Да Нет

ж) если функция $f(x)+g(x)=\mathrm{const}$, а функция $f(x)g(x)$ монотонна, то функция $f(x)^2+g(x)^2$ монотонна;

Да Нет

з) если функция $f(x)+g(x)=\mathrm{const}$, то функция $f(x)g(x)$ непериодична.

Да Нет

4. Дан функциональный ряд

$$\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\left(1+\dfrac{\ln x}{n}\right)^{k}-1}{n^{\beta}},$$

где k — положительное целое число, β — вещественное число. Обозначим через M множество тех x, при которых ряд сходится, и для $x\in M$ обозначим через $S(x)$ сумму этого ряда. Тогда

а) при любых $\beta\geqslant 0$ и целых $k>0$ множество M непустое и открытое;

Да Нет

б) при $k=2$, $\beta=2$ множество M непустое, и функция $S(x)$ ограничена на любом ограниченном подмножестве множества M;

Да Нет

в) функция $S(x)$ при любых $\beta>0$ и целом $k>0$ непрерывна на множестве M;

Да Нет

г) при $k=3$, $\beta=3$ уравнение $S(x)=3$ имеет решение;

Да Нет

д) при любых $\beta\geqslant 1$ и целом $k>0$ ряд сходится равномерно на любом ограниченном подмножестве множества M;

Да Нет

е) при любых $\beta\geqslant 0$ и целом $k>0$ ряд сходится равномерно на любом компактном подмножестве множества M;

Да Нет

ж) существуют числа $\beta > 1$ и целое $k > 0$, такие что график функции $S(x)$ имеет горизонтальную асимптоту;

Да Нет

з) существуют числа $\beta > 1$ и целое $k > 0$, такие что график функции $S(x)$ имеет наклонную (причем не горизонтальную) асимптоту.

Да Нет

5. Пусть $y(x)$ есть максимальное (непродолжаемое) решение задачи Коши

$$y' = \frac{y}{x} + x\sin x, \quad y(\pi) = 1.$$

Обозначим через M область определения функции $f(x) = \dfrac{y(x)}{x}$. Тогда

а) область определения функции $y(x)$ есть интервал $(0, +\infty)$;

Да Нет

б) график функции $y(x)$ имеет наклонную асимптоту;

Да Нет

в) функция $f(x)$ неотрицательна на множестве M;

Да Нет

г) функция $f(x)$ неположительна на множестве M;

Да Нет

д) существует конечный предел $\lim\limits_{x\to a} f(x)$, где $a = \inf M$;

Да Нет

е) существует конечный предел $\lim\limits_{x\to b} f(x)$, где $b = \sup M$;

Да Нет

ж) функция $f(x)$ является ограниченной;

Да Нет

з) уравнение $y(x) = cx$ имеет решения при любом $c > 0$.

Да Нет

3.2 Ответы и решения теста

3.2.1 Ответы на вопросы первой группы

1. E. **2.** B. **3.** D. **4.** B. **5.** C. **6.** D. **7.** E. **8.** C. **9.** D. **10.** E. **11.** D. **12.** D. **13.** C. **14.** A. **15.** C. **16.** E. **17.** E. **18.** C. **19.** D. **20.** D. **21.** C. **22.** B. **23.** C. **24.** D. **25.** C. **26.** C. **27.** D. **28.** C. **29.** B. **30.** E. **31.** A. **32.** B. **33.** D. **34.** A. **35.** C. **36.** D. **37.** A. **38.** E. **39.** D. **40.** C.

3.2.2 Решения задач второй группы

Задача 1. Заметим, что $(x^2-2x+y^2)(x^2+2x+y^2) = ((x-1)^2+y^2-1)((x+1)^2+y^2-1)$, откуда следует, что множество M есть объединение двух окружностей радиуса 1 — одна с центром в точке $(1, 0)$, другая с центром в точке $(-1, 0)$. А значит проекция множества M на прямую Ox есть отрезок $[-2, 2]$. Так как функция $f(x, y)$ зависит только от переменной x, то достаточно исследовать ее на экстремумы на отрезке $[-2, 2]$.

Производная $(x^2(2x+3))' = 2x(2x+3)+2x^2 = 6x(x+1)$. Ее корни -1 и 0 лежат внутри отрезка $[-2, 2]$. Вторая производная равна $(x^2(2x+3))'' = 12x+6$. В точке $x = -1$ она отрицательная ($x = -1$ — точка локального максимума), в точке $x = 0$ — положительная ($x = 0$ — точка локального минимума). Значения функции в точках $x = 0$ и $x = -1$ равны 0 и 1 соответственно.

В точках $x = -2$ и $x = 2$ (на концах отрезка) значения функции равны -4 и 28. Таким образом, в точке $x = -2$ достигается наименьшее, а в точке $x = 2$ — наибольшее значение фунции $x^2(2x+3)$ на отрезке $[-2, 2]$.

Вернемся к поведению функции $f(x, y)$ на множестве M. Точкам $x = -2$, $x = 0$ и $x = 2$ соответствуют точки $(-2, 0)$, $(0, 0)$ и $(2, 0)$ множества M. Точке $x = -1$ же соответствует две точки множества M — $(-1, 1)$ и $(-1, -1)$.

Отсюда следует, что функция $f(x, y)$ достигает наименьшего значения на множестве M в одной точке $(-2, 0)$, и это значение равно -4 (ответы на вопросы а) — «да», б) — «нет», в) — «нет»). Функция $f(x, y)$ достигает наибольшего значения на множестве M в точке $(2, 0)$, и это значение равно 28 (ответы на вопросы г) — «да», д) — «нет», е) — «нет»). Точки $(0, 0)$ и $(-1, -1)$ действительно являются точками локального минимума и максимума соответственно (ответы на вопросы ж) — «да», з) — «да»).

Задача 2. Так как матрица A задает пректор, то $A^2 = A$, то есть $B^TBB^TB = B^TB$. Если это равенство умножить слева на B, а справа на B^T, то получим $(BB^T)^3 = (BB^T)^2$. Так как BB^T невырожденная матрица, то $BB^T = I$ (ответ на вопрос а) — «да»). Так как система $Bx = 0$ в $\mathbf{R}^4$ имеет двумерное множество решений, то ранг матрицы B, а следовательно и матрицы B^T, равен двум (ответ на вопрос б) — «да»). Если $Bx = 0$, то $Ax = B^TBx = 0$. Наоборот, если $Ax = B^TBx = 0$, то $BB^TBx = 0$, то есть

$Bx = 0$. Таким образом, ядра матриц B и A совпадают (ответ на вопрос е) — «да»). Поэтому ранг матрицы A равен $4 - 2 = 2$ (ответ на вопрос в) — «нет»). Так как матрица A имеет ранг 2 и является проектором, то число 0 для нее является собственным числом кратности 2, и число 1 — собственным числом кратности тоже 2 (ответ на вопрос г) — «да»). Поскольку $A = B^T B$, то образ матрицы A содержится в образе матрицы B^T, а так как их ранги совпадают, то есть совпадают размерности образов, то совпадают и сами образы (ответ на вопрос д) — «да»). Образ марицы B^T и ядро матрицы B совпадает с образом и ядром матрицы A соответственно. Так как матрица A задает проектор, то ее образ и ядро разлагают $\mathbf{R}^4$ в прямую сумму (ответ на вопрос ж) — «да»). Матрица A не является ортогональной матрицей, так как она вырожденная: ее ранг (два) меньше ее порядка (четыре) (ответ на вопрос з) — «да»).

Задача 3. Если существует такое C, что при любом вещественном x мы имеем $f(x) + g(x) = C$, то $g(x) = C - f(x)$ и тогда $f(x)g(x) = f(x)\,(C - f(x))$ заведомо достигает максимума, если существует такое x, что $f(x) = g(x) = C/2$, и тогда она немонотонна. Например, $f(x) = 1 - e^x, g(x) = e^x$.

Однако может быть и так, что произведение $f(x)g(x)$ является монотонной функцией ($f(x) = C/2 - e^x$, $g(x) = C/2 + e^x$). Итого, в пунктах а) и б) ответ «нет».

Далее, $f(x)^2 + g(x)^2 = (f(x) + g(x))^2 - 2f(x)g(x) = C^2 - 2f(x)g(x)$ и является монотонной функцией, если функция $f(x)g(x)$ монотонна — в пункте ж) ответ «да».

Если функция $f(x)g(x)$ периодична, то она нигде не обращается в ноль — в пункте е) ответ «да». В самом деле, если она где-то равна нулю, то она равна нулю в бесконечном количестве точек. Но каждый ноль функции $f(x)g(x)$ — это ноль одной из функций $f(x)$ или $g(x)$. Каждая из них, однако, в силу строгой монотонности, может обращаться в ноль не более, чем в одной точке.

Теперь по пункту в). Пусть снова функция $f(x)g(x)$ периодична, и пусть $f(0)g(0) = C \neq 0$. Если длина периода равна T, то при любом натуральном k имеем $f(kT)g(kT) = C$. Последовательность $a_k = f(kT)$ сходится к нулю вместе с функцией $f(x)$ по условию. Значит, последовательность $b_k = g(kT)$ такова, что $b_k \to +\infty$. Но функция $g(x)$ (строго) возрастает, поэтому $g(x) \to +\infty$ при $x \to +\infty$ — в пункте в) ответ «да».

Переходя к пунктам г), д), допустим, что функция $f(x) + g(x)$ периодична с периодом T. Тогда она ограничена. Действительно, она непрерывна, следовательно достигает минимума и максимума на (любом) отрезке длины T. Эти минимум и максимум являются глобальными. Тогда, конечно, если $g(x) \to +\infty$ при $x \to +\infty$, то $f(x) \to -\infty$ при $x \to +\infty$ — в пункте г) ответ «нет», в пункте д) ответ «да».

Наконец, докажем, что в пункте з) ответ «да». Действительно, если $f(x)+g(x) = C$, то $f(x)g(x) = f(x)\,(C - f(x))$ не может быть периодичной: в силу строгой монотонности функции $f(x)$, уравнение $f(x)(C - f(x)) = \mathrm{const}$ имеет не более двух решений, а периодичная функция любое значение принимает бесконечное число раз.

Задача 4. Применяя бином Ньютона, получаем:

$$\frac{\left(1+\dfrac{\ln x}{n}\right)^k - 1}{n^\beta} = \frac{k\ln x}{n^{1+\beta}} + \frac{k(k-1)}{2}\frac{(\ln x)^2}{n^{2+\beta}} + \ldots + \frac{(\ln x)^k}{n^{k+\beta}}. \tag{1}$$

Следовательно, в силу интегрального признака Коши получаем, что при любых $k > 0$, $\beta > 0$ ряд сходится в каждой точке $x > 0$, поскольку каждое слагаемое в правой части (1) является членом сходящегося ряда. При $\beta = 0$ для любого $k > 0$ ряд расходится в каждой точке $x > 0$, $x \neq 1$, так как первое слагаемое в правой части (1) является с точностью до константы членом гармонического ряда, а остальные слагаемые являются членами сходящихся рядов.

При $x = 1$ ряд, очевидно, сходится при любых k, β. Таким образом, $M = (0, +\infty)$ при $k > 0$, $\beta > 0$. При $k > 0$ и $\beta = 0$ имеем $M = \{1\}$ — замкнутое множество. Поэтому на вопрос а) ответ «нет».

Если $k > 0$, $\beta > 0$, то в силу (1) функция $S(x)$ может быть представлена в виде

$$S(x) = c_1^{(k)} \ln x + c_2^{(k)} (\ln x)^2 + \ldots + c_k^{(k)} (\ln x)^k, \tag{2}$$

где $c_1^{(k)}, \ldots, c_k^{(k)} > 0$. Отсюда легко следует, что

$$\lim_{x\to+0} |S(x)| = +\infty, \quad \lim_{x\to+\infty} |S(x)| = +\infty. \tag{3}$$

Поэтому на вопрос б) ответ «нет», так как функция $S(x)$ при $k = 2$, $\beta = 2$ в силу (3) не ограничена, например, на интервале $(0, 1)$.

В силу (2) при $\beta > 0$ функция $S(x)$ непрерывна на M. Значит, на вопрос в) ответ «да».

Так как $S(1) = 0$, то в силу непрерывности $S(x)$ и (3) получаем ответ «да» на вопрос г).

Из (1) и из признака Вейерштрасса легко следует, что при $k > 0$, $\beta > 0$ на любом отрезке $[a, b] \subset (0, +\infty)$ ряд сходится равномерно. Напомним также, что $M = \{1\}$ при $\beta = 0$. Поэтому на вопрос е) ответ «да».

В силу (3) ответ на вопрос ж) «нет».

Из (2) вытекает что $S(x) = o(x)$ при $x \to +\infty$ в силу известных свойств функции $\ln x$. Поэтому на вопрос з) ответ «нет».

Возьмем $k = 1$, $\beta = 1$. Тогда $S(x) = \ln x \sum\limits_{n=1}^{\infty} \dfrac{1}{n^2} = C \ln x$ (на самом деле, $C = \dfrac{\pi^2}{6}$). Обозначим $C_n = \sum\limits_{k=1}^{n} \dfrac{1}{k^2}$, $S_n(x) = \ln x \sum\limits_{k=1}^{n} \dfrac{1}{k^2} = C_n \ln x$. Тогда $|S_n(x) - S(x)| = |\ln x| \cdot |C_n - C|$, откуда следует, что на интервале $(0, 1)$ сходимость не является равномерной. Ответ на вопрос д) «нет».

Задача 5. Данное дифференциальное уравнение является линейным, поэтому решим его с помощью метода вариации постоянной. Общее решение однородного уравнения $y' = y/x$ равно Cx. Теперь ищем частное решение неоднородного уравнения в виде $C(x)x$:

$$(C(x)x)' = C'(x)x + C(x) = \frac{C(x)x}{x} + x\sin x.$$

Сократив $C(x)$ в левой и правой частях уравнения, получаем:

$$C'(x) = \sin x,$$

откуда $C(x) = -\cos x$, и частное решение исходного уравнения $-x\cos x$. Общее решение неоднородного уравнения равно $x(C - \cos x)$. Подставив начальное условие $y(\pi) = 1$, получим $C = 1/\pi - 1$ и решение $y(x) = x\,(1/\pi - 1 - \cos x)$. Заметим, что несмотря на то, что эта формула имеет смысл для всех вещественных x, решение не продолжается через прямую $x = 0$, так как на этой прямой правая часть уравнения не определена. Таким образом, максимальное решение задачи Коши $y(x) = x\,(1/\pi - 1 - \cos x)$ определено при $x \in (0, +\infty)$ (ответ на вопрос а) — «да»).

Так как предел отношения $y(x)/x = 1/\pi - 1 - \cos x$ при $x \to +\infty$ не существует, то наклонной асимптоты график функции $y(x)$ не имеет (ответ на вопрос б) — «нет»). Заметим, что так как при всех $x > 0$ выполняется неравенство $1/\pi - 1 - \cos x \leqslant 1/\pi$, то при $c > 1/\pi$ уравнение $y(x) = cx$ не имеет решения (ответ на вопрос з) — «нет»).

Рассмотрим функцию $f(x) = y(x)/x = 1/\pi - 1 - \cos x$. Она определена там же, где и $y(x)$ — на $(0, +\infty)$. Заметим, что $-1 < 1/\pi - 1 < 1$, откуда следует, что $f(\pi) > 0$, а $f(2\pi) < 0$ (ответы на вопросы в) — «нет», г) — «нет»). Нижняя грань множества M равна $\inf M = 0$, предел $\lim\limits_{x\to 0}(1/\pi - 1 - \cos x)$ существует и равен $1/\pi - 2$ (ответ на вопрос д) — «да»). Верхняя грань множества M равна $\sup M = +\infty$, предел $\lim\limits_{x\to +\infty}(1/\pi - 1 - \cos x)$ не существует (ответ на вопрос е) — «нет»). Так как функция $\cos x$ ограничена, то и $f(x)$ ограничена (ответ на вопрос ж) — «да»).

4 Вступительный экзамен 2010 г.

Экзамен по математике проводился в форме письменного теста. Продолжительность экзамена составляла 4 часа, максимальная оценка — «12».

Тест состоял из двух частей. Первая часть содержала вопросы и задачи по математическому анализу и линейной алгебре, в каждом следовало выбрать один правильный ответ из пяти предложенных вариантов.

Вторая часть содержала вопросы, объединенные в блоки. В каждом блоке была вводная часть, описывающая условия, в рамках которых надлежало ответить на вопросы данного блока. Каждый вопрос требовал ответа «Да» или «Нет».

Правила оценивания теста следующие

Первая часть:

- $*$ правильный ответ — «$+1$»
- $*$ неправильный ответ — «-0.25»
- $*$ отсутствие ответа — «0»

Вторая часть:

- $*$ правильный ответ — «$+1$»
- $*$ неправильный ответ — «-1»
- $*$ отсутствие ответа — «0»

Максимальное количество баллов, которое можно было получить за каждую часть теста, одинаково. Оценка за экзамен определялась суммой баллов, полученных за первую и за вторую части теста.

4.1 Тест

4.1.1 Первая часть теста

1. Дана функция двух переменных $f(x,y) = x^2 + y^2$ и множество $M = \{(x,y)\colon \sqrt{|x|} + 2\sqrt{|y|} = 2\}$. Тогда

A функция $f(x,y)$ не ограничена на множестве M

B число локальных минимумов функции $f(x,y)$ на множестве M не больше трех

C число локальных максимумов функции $f(x,y)$ на множестве M не меньше трех

D в точке $(1, 1/4)$ функция $f(x,y)$ достигает наименьшего значения на множестве M

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

2. Непустое множество $M \subset \mathbf{R}$ замкнуто, и множество его внутренних точек пусто. Тогда

A множество M конечно или счетно

B множество M ограничено

C все точки множества M являются изолированными точками

D все точки множества M являются его граничными точками

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

3. Дан функциональный ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} \frac{(x \ln x)^n}{n}$. Обозначим через M его множество сходимости. Тогда

A множество M неограниченное

B множество M замкнутое

C на множестве M ряд сходится равномерно

D отрезок $[0.1, 0.5]$ содержится в M

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

4. Предел $\lim\limits_{x \to \pi/2} \left(\left(\frac{\pi}{2} - x \right) \operatorname{tg} x \right)$

A равен 0

B равен 1

C равен 2

D равен числу, отличному от перечисленных в A, B, C

E не существует

5. Дана функциональная последовательность $\{f_n(x) = ne^{-n|x|}, x \in \mathbf{R}, n = 1, 2, \dots\}$. Обозначим через M множество ее сходимости и через $f(x) = \lim\limits_{n \to \infty} f_n(x)$ при $x \in M$. Тогда

A интервал $(0,1) \in M$, существует $\int_0^1 f(x)dx$, и $\lim\limits_{n\to\infty} \int_0^1 f_n(x)dx = \int_0^1 f(x)dx$

B отрезок $[1, 5] \in M$, и последовательность $\{f_n(x)\}$ не сходится равномерно к $f(x)$ на $[1, 5]$

C $\lim\limits_{n\to\infty} \int_0^1 (x^3 + 2) f_n(x)dx = 3$

D функция $f(x)$ является неограниченной на M

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

6. Функция $y(x)$ является максимальным (непродолжаемым) решением задачи Коши $y' = \dfrac{y^2}{x}$, $y(1) = 1/2$. Найдите ***ложное*** утверждение:

A функция $y(x)$ является неограниченной

B $\lim\limits_{x\to+\infty} y(x) = 0$

C $\lim\limits_{x\to0+0} y(x) = 0$

D функция $y(x)$ является возрастающей

E среди утверждений A, B, C, D есть хотя бы одно ложное

7. Последовательность $\{x_n, n = 1, 2, \ldots\}$ определяется рекуррентно $x_{n+1} = x_n + \sin x_n$, $n = 1,\ 2,\ \ldots$. Тогда

A предел $\lim\limits_{n\to\infty} x_n$ существует при любом $x_1 \geqslant 0$ и не зависит от x_1

B существует такое число $x_1 > 0$, что последовательность $\{x_n, n = 1, 2, \ldots\}$ является неограниченной

C при любом $x_1 > 0$ последовательность $\{x_n, n = 1, 2, \ldots\}$ является монотонной

D существует такое число $x_1 > 0$, что последовательность $\{x_n, n = 1, 2, \ldots\}$ имеет два различных частичных предела

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

8. Дан функциональный ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} ne^{-x\sqrt{n}}$. Обозначим через M множество его сходимости и через $S(x)$ — сумму этого ряда при $x \in M$. Тогда

A M — ограниченное множество

B функция $S(x)$ ограничена на M

C на любом интервале $(a, b) \subset M$ ряд сходится равномерно

D функция $S(x)$ непрерывна на M

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

9. На координатной плоскости даны две окружности $x^2 + y^2 = 1$ и $\left(x - 10\sqrt{2}\right)^2 + \left(y - 10\sqrt{2}\right)^2 = 1$. В момент $t = 0$ радиус каждой окружности начинает увеличиваться со скоростью, пропорциональной ее радиусу. Через одну секунду радиус первой окружности удваивается, а радиус второй окружности увеличивается в четыре раза. Касание окружностей произойдет в момент времени

A $\quad t = 2$ секунды

B $\quad t = 3$ секунды

C $\quad t = \ln 10$ секунд

D $\quad t = \ln 12$ секунд

E $\quad t$, отличный от перечисленных в A, B, C, D

10. Пусть $f(x)$ — непрерывная на $[0, +\infty)$ функция и $a > 0$. Тогда интеграл $\int_0^a x^3 f(x^2)\,dx$

A $\quad$ равен $\frac{1}{3}\int_0^{a^3} x^2 f(x)\,dx$

B $\quad$ равен $2\int_0^{\sqrt{a}} x f(x^2)\,dx$

C $\quad$ равен $\frac{1}{2}\int_0^{a^2} x f(x)\,dx$

D $\quad$ равен $\frac{1}{3}\int_0^{\sqrt[3]{a}} x f\left(\sqrt{x}\right)dx$

E $\quad$ не совпадает ни с одним из выражений в A, B, C, D

11. Предел $\lim\limits_{x\to+\infty}\left(x - x^2 \ln\left(1 + \frac{1}{x}\right)\right)$

A $\quad$ равен 0

B $\quad$ равен 1

C $\quad$ равен 1/2

D $\quad$ равен числу, отличному от перечисленных в A, B, C

E $\quad$ не существует

12. Функция $f(x)$ определена на вещественной прямой $\mathbf{R}$. Тогда

A $\quad$ если $f(x)$ непрерывна на $\mathbf{R}$, то ее график замкнут в $\mathbf{R}^2$

B $\quad$ если $f(x)$ имеет единственную точку разрыва на $\mathbf{R}$, и это устранимый разрыв, то ее график замкнут в $\mathbf{R}^2$

C $\quad$ если $f(x)$ имеет единственную точку разрыва на $\mathbf{R}$, и это разрыв первого рода, то ее график замкнут в $\mathbf{R}^2$

D $\quad$ если $f(x)$ имеет единственную точку разрыва на $\mathbf{R}$, и это разрыв второго рода, то ее график замкнут в $\mathbf{R}^2$

E $\quad$ все четыре утверждения A, B, C, D ложные

13. Дано множество $A \subset \mathbf{R}^2$. Обозначим через $X(A) = \{x \in \mathbf{R} \colon \exists y \in \mathbf{R} \colon (x, y) \in A\}$ проекцию множества A на ось Ox. Тогда

A если множество A замкнутое, то множество $X(A)$ тоже замкнутое

B если множество $X(A)$ замкнутое, то множество A тоже замкнутое

C если множество A открытое, то множество $X(A)$ тоже открытое

D если множество $X(A)$ открытое, то множество A тоже открытое

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

14. Пусть $f(x)$ — функция, непрерывная на $(0, 1)$, и $\Gamma = \{(x, y) \in \mathbf{R}^2 \colon x \in (0, 1), y = f(x)\}$ — ее график. Тогда

A Γ — ограниченное множество

B Γ — неограниченное множество

C Γ — открытое множество

D Γ — замкнутое множество

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

15. Пусть функция $f(x)$ определена на отрезке $[a, b]$ и интегрируема по Риману на $[a, b]$. Обозначим через $F(x) = \int_a^x f(t)\,dt$. Тогда

A существует такая $f(x)$, что $F(x)$ имеет разрыв на $[a, b]$

B функция $F(x)$ непрерывна на $[a, b]$ и дифференцируема на (a, b)

C функция $F(x)$ непрерывна на $[a, b]$ и дифференцируема на всем (a, b), кроме, быть может, одной точки

D функция $F(x)$ непрерывна на $[a, b]$ и дифференцируема на всем (a, b), кроме, быть может, некоторого конечного множества

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

16. Пусть $X = \{x_1, \ldots, x_n\}$, где $n \geqslant 3$, — система векторов, принадлежащих $\mathbf{R}^N$, где $N \geqslant 3$. Известно, что любые $n - 1$ векторов из X линейно независимые. Тогда

A система X линейно зависимая

B система X линейно независимая

C если система X линейно зависимая, то $n > N$

D если система X линейно независимая, то $n < N$

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

17. Пусть A — квадратная матрица порядка $n \geqslant 3$. Обозначим через $\det A$ определитель матрицы A. Тогда

A если $\det A > 0$, то n четное

B если $\det A < 0$, то n нечетное

C если $\det A > 0$, то $\det(A^{\mathsf{T}}A) > 0$

D если $\det A < 0$, то $\det(A^{\mathsf{T}}A) < 0$

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

18. Пусть A — матрица размера $m \times n$, a — столбец длины m, b — столбец длины n, и x — искомый столбец подходящей длины. Через A^{T} обозначается матрица, транспонированная к A. Тогда

A если система $Ax = a$ имеет не более одного решения при любом a, то система $AA^{\mathsf{T}}x = a$ имеет не более одного решения при любом a

B если система $AA^{\mathsf{T}}x = a$ имеет не более одного решения при любом a, то система $Ax = a$ имеет не более одного решения при любом a

C если система $AA^{\mathsf{T}}x = a$ совместна при любом a, то система $Ax = a$ совместна при любом a

D если система $A^{\mathsf{T}}x = b$ совместна при любом b, то система $AA^{\mathsf{T}}x = a$ совместна при любом a

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

19. Число инвариантных подпространств матрицы

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix},$$

трактуемой как линейный оператор в $\mathbf{R}^2$, равно

A 1

B 2

C 3

D 4

E бесконечно много

20. Пусть A — матрица $m \times n$, B — матрица $n \times m$ и x, y — столбцы длины n и m соответственно. Тогда

A если существует $y \neq 0$, такой что $ABy = y$, то существует $x \neq 0$, такой что $BAx = x$

B если существует $y \neq 0$, такой что $ABy = y$, то существует $x \neq 0$, такой что $BAx = -x$

C если существует y, такой что $ABy = 0$, то существует $x \neq 0$, такой что $BAx = 0$

D если существует $y \neq 0$, такой что $ABy = 0$, то существует $x \neq 0$, такой что $BAx = 0$

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

21. Линейные операторы $\mathbf{A}$ и $\mathbf{B}$ являются операторами проектирования в $\mathbf{R}^n$. Тогда

A если $\mathbf{AB} = \mathbf{BA}$, то $\mathbf{A} + \mathbf{B}$ является оператором проектирования

B если $\mathbf{A} + \mathbf{B}$ является оператором проектирования, то $\mathbf{AB} \neq \mathbf{BA}$

C если $\mathbf{AB} = 0$, то $\mathbf{A} + \mathbf{B}$ является оператором проектирования

D если $\mathbf{A} + \mathbf{B} = 0$, то $\mathbf{A} - \mathbf{B}$ является оператором проектирования

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

22. Пусть A и B — симметричные положительно полуопределенные матрицы порядка $n \geqslant 3$. Обозначим через $\operatorname{rank} A$ ранг матрицы A. Тогда

A если $\operatorname{rank} A + \operatorname{rank} B \geqslant n$, то матрица $A + B$ положительно определена

B если $\operatorname{rank} A + \operatorname{rank} B \geqslant n$, то матрица $AB + BA$ положительно определена

C если $\operatorname{rank} A = \operatorname{rank} B = n$, то матрица $A + B$ положительно определена

D если $\operatorname{rank} A = \operatorname{rank} B = n$, то матрица $AB + BA$ положительно определена

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

23. Пусть P — квадратная матрица порядка n, все собственные значения которой равны нулю или единице. Через I обозначим единичную матрицу. Тогда

A $P^2 = P$

B если P невырожденная, то $P = I$

C $(I - P)^{2n} = (I - P)^n$

D	количество линейно независимых собственных векторов матрицы P^n не превосходит количества линейно независимых собственных векторов матрицы P

E	все четыре утверждения A, B, C, D ложные

24. При каком наибольшем значении натурального параметра k максимальное (непродолжаемое) решение задачи Коши $\frac{dx}{dt} = e^x$, $x(0) = k$ определено в точке $t = 0.1$?

A	1

B	2

C	3

D	4

E	5

25. Сумма ряда

$$\sum_{n=0}^{\infty} n \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

равна

A	1

B	2

C	4

D	6

E	числу, отличному от перечисленных в A, B, C, D.

26. Неявная функция $y(x)$ определяется уравнением $\frac{1+x^2}{1+y^2} - \ln\frac{1+y}{1+x} = 1$. Производная $\frac{dy}{dx}$ в точке $(0,0)$

A	равна 0

B	равна 1

C	равна -1

D	равна числу, отличному от перечисленных в A, B, C

E	не существует

27. Выберите истинное утверждение (все множества суть подмножества числовой прямой):

A пересечение любого числа непустых компактных множеств является непустым компактным множеством

B объединение конечного числа множеств, каждое из которых является либо открытым, либо замкнутым, является либо открытым, либо замкнутым

C пересечение любого числа дополнений к компактным множествам является дополнением к компактному множеству

D любое компактное множество является пересечением некоторого (возможно, несчетного) числа отрезков

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

28. Выберите ***ложное*** утверждение (все множества суть подмножества числовой прямой):

A если все граничные точки множества не принадлежат ему, то множество является открытым

B точная верхняя грань непустого ограниченного множества является его граничной точкой

C множество граничных точек множества, не являющегося ни открытым, ни замкнутым, само не является ни открытым, ни замкнутым

D если множество не является ни открытым, ни замкнутым, то множество его граничных точек непусто

E среди утверждений A, B, C, D есть хотя бы одно ложное

29. Даны числовые последовательности $\{x_n\}$, $\{y_n\}$. Тогда

A если последовательности $\{x_n\}$ и $\{y_n\}$ сходятся, причем $y_n > 0$, то последовательность $\{z_n = x_n/y_n\}$ сходится

B если последовательности $\{x_n\}$ и $\{y_n\}$ сходятся, причем $x_n > 0$, $y_n > 0$, то последовательность $\{z_n = {x_n}^{y_n}\}$ сходится

C если последовательности $\{x_n\}$ и $\{y_n\}$ сходятся, а последовательность $\{z_n\}$ такова, что $x_n \leqslant z_n \leqslant y_n$, то последовательность $\{z_n\}$ также сходится, причем $\lim\limits_{n\to\infty} x_n \leqslant \lim\limits_{n\to\infty} z_n \leqslant \lim\limits_{n\to\infty} y_n$

D если последовательность $\{x_n^2\}$ сходится, то последовательность $\{x_n\}$ имеет не более двух частичных пределов

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

30. Предел $\lim\limits_{x\to+\infty} \sqrt{x^2+2x} - x$ равен

A 0

B 1

C $\sqrt{2}$

D 2

E $+\infty$

31. Сумма $\sum\limits_{n=1}^{\infty} \dfrac{1}{4n^2-1}$ равна

A $1/2$

B $1/4$

C $3/2$

D $3/4$

E 1

32. Предел $\lim\limits_{n\to\infty} \sum\limits_{k=1}^{n} \dfrac{1}{k+n}$

A равен 1

B равен $\ln 2$

C равен 0

D равен $+\infty$

E не существует

33. Интеграл $\int_{-1/2}^{1/2} \dfrac{dx}{1-x^2}$ равен

A $\ln 2$

B $\ln 3$

C $3\ln 2$

D $2\ln 3$

E $3\ln 3$

34. Последовательность $\{x_n\}$ задана рекуррентным соотношением $x_{n+1} = 1/2(x_n + 2/x_n)$; известно, что $x_0 \neq 0$. Тогда

A последовательность $\{x_n\}$ расходится для $x_0 < 0$ и сходится к 1 для $x_0 > 0$

B последовательность $\{x_n\}$ расходится для $x_0 < 0$ и сходится к $\sqrt{2}$ для $x_0 > 0$

C последовательность $\{x_n\}$ сходится к -1 для $x_0 < 0$ и сходится к $\sqrt{2}$ для $x_0 > 0$

D последовательность $\{x_n\}$ сходится к $-\sqrt{2}$ для $x_0 < 0$ и сходится к $\sqrt{2}$ для $x_0 > 0$

E последовательность $\{x_n\}$ расходится для любого $x_0 \neq 0$

35. Последовательность $\{a_n\}$ такова, что $\lim\limits_{n\to\infty} a_{n^2} = 0$. Тогда

A $\lim\limits_{n\to\infty} a_n = 0$

B если a_n монотонна, то $\lim\limits_{n\to\infty} a_n = 0$

C $\lim\limits_{n\to\infty} a_{n^3} = 0$

D ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_n x^n$ имеет радиус сходимости не меньший, чем 1

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

36. Пусть $a_0 = a \geqslant 0$. Последовательность $\{a_n\}$ для $n \geqslant 1$ определяется формулой

$$a_n = \begin{cases} a_{n-1}^{1/2} & \text{для } n \text{ вида } 3k, \text{ где } k \text{ — целое;} \\ a_{n-1}^{2/3} & \text{для } n \text{ вида } 3k-1, \text{ где } k \text{ — целое;} \\ a_{n-1}^{3} & \text{для } n \text{ вида } 3k+1, \text{ где } k \text{ — целое.} \end{cases}$$

Тогда

A существует a такое, что последовательность $\{a_n\}$ не ограничена

B последовательность $\{a_n\}$ не является монотонной

C если последовательность $\{a_n\}$ имеет предел, то она является постоянной

D предел последовательности $\{a_n\}$ существует только при $a = 1$

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

37. Ряды $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_n x^n$ и $\sum\limits_{n=0}^{\infty} b_n x^n$ имеют радиусы сходимости 1 и 2, соответственно. Тогда ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_n b_n x^n$

A имеет радиус сходимости 2

B имеет радиус сходимости 1

C имеет радиус сходимости не меньший, чем 1

D имеет радиус сходимости, не больший, чем 2

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

38. Функция $f(x)$ определена на вещественной прямой и имеет при $x \to +\infty$ асимптоту, заданную уравнением $y = ax + b$. Тогда радиус сходимости ряда $\sum_{n=0}^{\infty} f(n)x^n$

A одинаков при всех $a, b \in \mathbf{R}$

B равен единице при $a = 0$

C принимает не более двух различных значений

D либо равен единице, либо принимает значение, не меньшее 2

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

39. Пусть $a_1 = a \in \mathbf{R}$, и далее для $n > 1$ определяется $a_n = \sin\left(\frac{\pi}{2}a_{n-1}\right)$. Тогда предел последовательности $\{a_n\}$

A не существует при $|a| > \pi$

B если существует, то равен либо 0, либо 1, либо -1

C если существует, то равен либо 1, либо -1

D может принимать бесконечное число значений

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

40. Дано дифференциальное уравнение $y' = y^4$. Тогда при любом начальном условии его максимальное (непродолжаемое) решение

A определено на ограниченном интервале

B определено при $x = 0$

C имеет вертикальную асимптоту

D не определено при $x = 1$

E все четыре утверждения A, B, C, D ложные

4.1.2 Вторая часть теста

1. Функция $f(x)$ задана формулой

$$f(x)=\begin{cases}\lim\limits_{n\to\infty}\left(\cos\left(\dfrac{1+x}{n}\right)\right)^{n^2}, & \text{если } x<-1,\\ \lim\limits_{n\to\infty}\left(1-\cos\left(\dfrac{x}{n}\right)\right)^{1/n}, & \text{если } -1\leqslant x\leqslant 0,\\ \lim\limits_{n\to\infty}\left(x^n+\dfrac{1}{x^n}\right)^{1/n}, & \text{если } x>0,\end{cases}$$

а функция $g(x)=\int_0^x f(t)dt$. Тогда

а) функция $f(x)$ определена при всех вещественных x;

Да Нет

б) график функции $f(x)$ имеет горизонтальную асимптоту;

Да Нет

в) функция $f(x)$ достигает наименьшего значения в единственной точке;

Да Нет

г) $f'(1)=1$;

Да Нет

д) $f'(-1)=0$;

Да Нет

е) функция $g(x)$ определена при всех вещественных x;

Да Нет

ж) функция $g(x)$ дифференцируема в каждой внутренней точке своей области определения;

Да Нет

з) график функции $g(x)$ имеет наклонную (причем не горизонтальную) асимптоту.

Да Нет

2. Даны функция $f(x,y)=(x-a)^2+y^2$, где $a\in\mathbf{R}$, и множество $M=\{(x,y)\in$ $\in\mathbf{R}^2\colon g(x,y)=0\}$, где $g(x,y)=x^3-3x^2-4x-y^2$. Тогда

а) множество M является компактным;

Да Нет

б) при любом a функция $f(x, y)$ достигает наибольшего значения на M в единственной точке;

Да Нет

в) при любом a функция $f(x, y)$ достигает наименьшего значения на M;

Да Нет

г) при любом a функция $f(x, y)$ достигает наименьшего значения на M не более, чем в одной точке;

Да Нет

д) при $a = 3$ наибольшее значение функции $f(x, y)$ на M равно $2\sqrt{2}$;

Да Нет

е) при $a = 1$ наименьшее значение функции $f(x, y)$ на M равно 1;

Да Нет

ж) существует a такое, что в любой точке, в которой функция $f(x, y)$ достигает локального минимума на M, выполнено равенство $\dfrac{\partial g}{\partial y}(x, y) = 0$;

Да Нет

з) при любых различных значениях a наименьшие значения функции $f(x, y)$ на M различные.

Да Нет

3. Дана квадратная вещественная матрица A порядка $n \geqslant 6$. Известно, что $A^2 = -I$. Тогда

а) матрица A кососимметричная;

Да Нет

б) матрица A ортогональная;

Да Нет

в) если матрица A кососимметричная, то она ортогональная;

Да Нет

г) если матрица A симметричная, то она ортогональная;

Да Нет

д) пространство $\mathbf{R}^n$ разлагается в прямую сумму ядра и образа матрицы A;

Да Нет

е) у матрицы A существует инвариантное подпространство размерности 1;

Да Нет

ж) у матрицы A существует бесконечно много инвариантных подпространств размерности 2;

Да Нет

з) в $\mathbf{R}^n$ существуют подпространства L_1 и L_2, такие что $A(L_1) \subset L_2$, $A(L_2) \subset L_1$ и $\mathbf{R}^n = L_1 \oplus L_2$.

Да Нет

4. Дан функциональный ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} n^2(e^{-nx} - e^{-3nx})$. Обозначим через M множество его сходимости, и для $x \in M$ обозначим через $S(x)$ сумму этого ряда. Тогда

а) множество M замкнуто;

Да Нет

б) множество M не ограничено сверху;

Да Нет

в) функция $S(x)$ убывает на M;

Да Нет

г) функция $S(x)$ ограничена на M;

Да Нет

д) функция $S(x)$ непрерывна на M;

Да Нет

е) график функции $S(x)$ имеет асимптоту;

Да Нет

ж) для любого компактного подмножества $K \subset M$ ряд сходится к $S(x)$ равномерно на множестве K;

Да Нет

з) существует некомпактное подмножество $G \subset M$, на котором ряд сходится к $S(x)$ равномерно.

Да Нет

5. Функция $f(x)$ определена на вещественной прямой и периодична, ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_n$ сходится, а ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} b_n x^n$ имеет радиус сходимости, равный 1. Тогда

а) ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_n^2$ сходится;

Да Нет

б) ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} |a_n| f(n)$ сходится;

Да Нет

в) ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_n b_n$ сходится;

Да Нет

г) ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} b_n f(n) x^n$ имеет радиус сходимости, равный 1;

Да Нет

д) если минимальный период функции $f(x)$ равен $\sqrt{2}$, то ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} b_n f(n) x^n$ имеет радиус сходимости, равный 1;

Да Нет

е) ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_n f(n) x^n$ имеет радиус сходимости, больший 1;

Да Нет

ж) если один из периодов функции $f(x)$ равен 1, то ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_n f(n)$ сходится;

Да Нет

з) если минимальный период функции $f(x)$ является целым положительным числом, строго большим 1, то ряд $\sum\limits_{n=0}^{\infty} f(n) x^n$ имеет радиус сходимости, в точности равный 1.

Да Нет

4.2 Ответы и решения теста

4.2.1 Ответы на вопросы первой группы

1. C. **2.** D. **3.** D. **4.** B. **5.** E. **6.** B. **7.** C. **8.** D. **9.** A. **10.** C. **11.** C. **12.** A. **13.** C. **14.** E. **15.** E. **16.** E. **17.** C. **18.** C. **19.** B. **20.** A. **21.** D. **22.** C. **23.** E. **24.** B. **25.** B. **26.** B. **27.** E. **28.** C. **29.** D. **30.** B. **31.** A. **32.** B. **33.** B. **34.** D. **35.** B. **36.** C. **37.** C. **38.** E. **39.** B. **40.** E.

4.2.2 Решения задач второй группы

Задача 1. Найдем пределы выражений, стоящих в определении функции $f(x)$.

$$\lim_{n\to\infty}\left(\cos\left(\frac{1+x}{n}\right)\right)^{n^2} = \lim_{n\to\infty}\left(1-\frac{1}{2}\left(\frac{1+x}{n}\right)^2 + o\left(\frac{1}{n^2}\right)\right)^{n^2} = e^{-(1+x)^2/2}.$$

$$\lim_{n\to\infty}\left(1-\cos\left(\frac{x}{n}\right)\right)^{1/n} = \lim_{n\to\infty}\left(\frac{1}{2}\left(\frac{x}{n}\right)^2 + o\left(\frac{1}{n^2}\right)\right)^{1/n} = \\ = \begin{cases} 0, & \text{если } x = 0, \\ 1, & \text{если } x \neq 0. \end{cases}$$

Оставшийся предел найдем для трех разных случаев:
Случай $0 < x < 1$:

$$\lim_{n\to\infty}\left(x^n + \frac{1}{x^n}\right)^{1/n} = \lim_{n\to\infty}\frac{1}{x}\left(x^{2n}+1\right)^{1/n} = \frac{1}{x}.$$

Случай $x = 1$:

$$\lim_{n\to\infty}\left(x^n + \frac{1}{x^n}\right)^{1/n} = \lim_{n\to\infty}(1+1)^{1/n} = 1.$$

Случай $x > 1$:

$$\lim_{n\to\infty}\left(x^n + \frac{1}{x^n}\right)^{1/n} = \lim_{n\to\infty} x\left(1+\frac{1}{x^{2n}}\right)^{1/n} = x.$$

Таким образом, функцию $f(x)$ можно задать следующей формулой (см. также рис. 1):

$$f(x) = \begin{cases} e^{-(x+1)^2/2}, & \text{если } x < -1, \\ 1, & \text{если } -1 \leqslant x < 0, \\ 0, & \text{если } x = 0, \\ 1/x, & \text{если } 0 < x < 1, \\ 1, & \text{если } x = 1, \\ x, & \text{если } x > 1. \end{cases}$$

Следовательно, ответы на вопросы (а) — «да» (пределы существуют во всех точках вещественной оси), (б) — «да» (при $x \to -\infty$ функция $f(x)$ стремится к нулю),

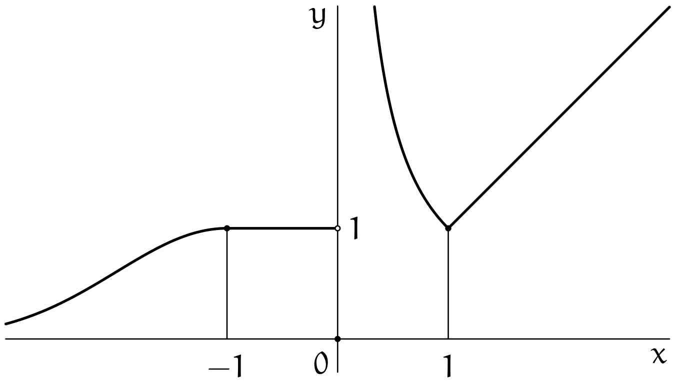


Рис. 1. График функции $f(x)$

(в) — «да» (в точке $x = 0$ достигается наименьшее значение, равное нулю), (г) — «нет» ($f'(1)$ не существует), (д) — «да».

Заметим, что если $x > 0$, то функция $f(x)$ неограничена на отрезке $[0, x]$, поэтому интеграл $\int_0^x f(t)dt$ не существует и функция $g(x)$ не определена. Если же $x \leqslant 0$, то $f(x)$ ограничена на отрезке $[x, 0]$, и функция $g(x)$ определена. Поэтому ответ на вопрос (е) — «нет». Так как $f(x)$ непрерывна при всех $x < 0$, то $g(x)$ дифференцируема при всех $x < 0$ (ответ на вопрос (ж) — «да»).

Так как функция $g(x)$ определена на $(-\infty, 0]$, то наклонная асимптота может быть только при $x \to -\infty$. Функция $f(x)$ положительная при всех $x < 0$, поэтому $g(x)$ возрастающая, и так как $g(0) = 0$, то при всех $x < 0$ значения $g(x) < 0$. Заметим, что так как $-(x+1)^2/2 < x+2$, то функция $f(x) < e^{x+2}$ при $x \leqslant 0$, и функция $g(x)$ ограничена снизу функцией $\int_0^x e^{t+2}dt = e^2(e^x - 1)$. Легко видеть, что функция $e^2(e^x - 1)$ ограничена на $(-\infty, 0]$, а значит и $g(x)$ ограничена на $(-\infty, 0]$. Поэтому $g(x)$ как монотонная ограниченная функция имеет конечный предел $\lim\limits_{x\to-\infty} g(x)$, а значит имеет горизонтальную асимптоту (ответ на вопрос (з) — «нет»).

Задача 2. Рассматривая $g(x, y) = 0$ как уравнение на x при фиксированном y, легко убедиться, что оно имеет решение при любом значении y, таким образом, множество M не является ограниченным. Функция $f(x, y)$, являющаяся квадратом расстояния до точки $(a, 0)$, не является ограниченной на неограниченном множестве и, следовательно, не может достигать на нем наибольшего значения. Ответы на вопросы (а), (б) и (д) — «нет». При этом множество M очевидно является замкнутым; наименьшее значение функции $f(x, y)$ на M не может достигаться вне круга $D = \{(x, y) \in R^2 : (x - a)^2 + y^2 \leqslant a^2\}$ (значение функции f вне этого круга больше a^2, в то время как ее значение в точке $(0, 0)$, принадлежащей M, равно a^2). Множество $M \cap B$ компактно, и к нему применима теорема Вейерштрасса. Ответ на вопрос (в) — «да».

Заметим, что множество M не содержит точек с абсциссой $0 < x < 4$ и с абсциссой $x < -1$. Поэтому при $a = 2$ значение функции f на множестве M не может быть меньше 4, а значение 4 достигается сразу в двух точках $(0,0)$ и $(4,0)$, т. е., ответ на вопрос (г) — «нет». Аналогично, при $a = 1$ значение функции f на множестве M не может быть меньше 1, а значение 1 достигается в единственной точке $(0,0)$, в которой выполнено $\partial g(x,y)/\partial y = 0$, т. е., ответы на вопросы (е) и (ж) — «да». Наконец, при $a = -2$ значение функции f на множестве M также не может быть меньше 1, а значение 1 достигается в точке $(-1,0)$, т. е., ответ на вопрос (з) — «нет».

Задача 3. Рассмотрим следующую матрицу 2×2:

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ -1/2 & 0 \end{pmatrix}$$

(матрица, подобная кососимметрической). Легко видеть, что $B^2 = -I$. В качестве примера матрицы 6×6 можно предложить, например, блочно-диагональную матрицу

$$\begin{pmatrix} B & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & B \end{pmatrix}$$

(ответ на вопрос (а) — «нет»). Заметим, что эта матрица не является ортогональной (ответ на вопрос (б) — «нет»).

Пусть теперь матрица A кососимметрическая, то есть $A^T = -A$. Тогда $A^T A = -A^2 = I$, а следовательно A — ортогональная (ответ на вопрос (в) — «да»).

Если $A^2 = -I$, то матрица A не может быть симметричной (для которой $A^2 = A^T A$ — положительно полуопределенная матрица). Следовательно, посылка в утверждении пункта (г) ложная, и ответ — «да».

Заметим, что матрица A невырожденная (иначе A^2 была бы вырожденной). Поэтому ее ядро нулевое, а образ равен всему пространству $\mathbf{R}^n$, и ответ на вопрос (д) — «да».

Если бы у матрицы A было одномерное инвариантное подпространство, то у нее был бы собственный вектор x (соответствующий каком-нибудь собственному числу λ). Но тогда этот же вектор x был бы собственным вектором матрицы A^2 и соответствовал бы собственному числу $\lambda^2 \geqslant 0$. Однако матрица A^2 отрицательно определена. Поэтому ответ на вопрос (е) — «нет».

Что касается инвариантных подпространств размерности два, то взяв *любой* ненулевой вектор x, мы получим, что векторы $\{x, Ax\}$ образуют линейно независимую систему, а так как $A(Ax) = A^2 x = -x$, то линейная оболочка $\langle x, Ax \rangle$ инвариантна относительно матрицы A. Таким образом, ответ на вопрос (ж) — «да».

Подпространства L_1 и L_2 из пункта (з) можно построить следующим образом:

1. зафиксируем ненулевой вектор x_1;

2. положим $y_1 = Ax_1$, заметим, что система $\{x_1, y_1\}$ линейно независимая, линейная оболочка $\langle x_1, y_1\rangle$ инвариантна относительно A, и $Ay_1 = -x_1$;

3. выберем ненулевой вектор x_2, не принадлежащий линейной оболочке $\langle x_1, y_1\rangle$;

4. положим $y_2 = Ax_2$, заметим, что $y_2 \notin \langle x_1, y_1, x_2\rangle$ (иначе $y_2 = \alpha_1 x_1 + \beta_1 y_1 + \alpha_2 x_2$, и $-x_2 = Ay_2 = \alpha_1 Ax_1 + \beta_1 Ay_1 + \alpha_2 Ax_2 = \alpha_1 y_1 - \beta_1 x_1 + \alpha_2 y_2 = \alpha_1 y_1 - \beta_1 x_1 + \alpha_2(\alpha_1 x_1 + {} + \beta_1 y_1 + \alpha_2 x_2)$, и $x_2 \in \langle x_1, y_1\rangle$) а значит система $\{x_1, y_1, x_2, y_2\}$ линейно независимая;

5. повторяем действия в пунктах 3 и 4 до тех пор, пока есть возможность выбрать $x_{m+1} \notin \langle x_1, y_1, \ldots, x_m, y_m\rangle$, то есть пока число векторов в системе $\{x_1, y_1, \ldots, x_m, y_m\}$ не достигнет n.

В результате в качестве пространства L_1 можно взять линейную оболочку системы векторов $\{x_1, \ldots, x_m\}$, а в качестве пространства L_2 — линейную оболочку системы векторов $\{y_1, \ldots, y_m\}$. Ответ на вопрос (з) — «да».

Задача 4. Если $x < 0$, то ряд расходится, так как общий член ряда не стремится к нулю. При $x = 0$ ряд, очевидно, сходится, и $S(0) = 0$. Если $x > 0$, то ряд сходится, так как он представим в виде разности двух рядов, каждый из которых сходится, например, по признаку Даламбера. Таким образом, $M = [0, +\infty)$. Следовательно, ответ на вопрос (а) — «да», на вопрос (б) — «да». Так как $S(0) = 0$ и $S(x) > 0$ для любого $x > 0$, то на вопрос (в) ответ «нет».

Если $x > 0$, то

$$S(x) \geqslant \sum_{n=1}^{\infty} (e^{-nx} - e^{-3nx}) = \frac{e^{-x}}{1 - e^{-x}} - \frac{e^{-3x}}{1 - e^{-3x}} = \frac{e^{-3x}(e^{2x} - 1)}{(1 - e^{-x})(1 - e^{-3x})}. \tag{1}$$

Так как $e^x = 1 + x + o(x)$ при $x \to 0$, то из (1) следует, что

$$S(x) \geqslant \frac{c}{x} \tag{2}$$

в некоторой (правой) окрестности точки 0, где $c > 0$ — некоторая константа. Поэтому на вопрос (г) ответ «нет». Из (2) также следует, что функция $S(x)$ разрывна в нуле, значит, на вопрос (д) ответ «нет». Из (2) вытекает, что в точке 0 график функции $S(x)$ имеет вертикальную асимптоту, значит, на вопрос (е) ответ «да».

На отрезке $[0, 1]$ (компактное множество) каждая частичная сумма является непрерывной функцией, а предельная функция $S(x)$ разрывна. Поэтому на отрезке $[0, 1]$ сходимость не равномерная, и ответ на вопрос (ж) — «нет».

Если $x \geqslant 1$, то

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left| n^2 (e^{-nx} - e^{-3nx}) \right| \leqslant \sum_{n=1}^{\infty} n^2 e^{-n},$$

и числовой ряд в правой части неравенства сходится. По признаку Вейерштрасса исходный ряд сходится равномерно на некомпактном множестве $[1, +\infty)$. Ответ на вопрос (з) — «да».

Задача 5. (а) Нет. Знакопеременный корень из гармонического ряда сходится как ряд Лейбница, а сумма его квадратов — гармонический ряд:

$$a_n = \frac{(-1)^n}{\sqrt{n}}.$$

(б) Нет, потому что если исходный ряд — всё тот же знакопеременный, а $f(x)$ постоянна (или периодична с периодом, равным 1), то получается сумма модулей знакопеременного ряда, которая не обязана сходиться (годится пример из (а), скажем).

(в) Нет. Оба ряда из примера пункта (а). Их произведение является гармоническим рядом, а радиус сходимости для функционального ряда на основе любых таких ухищрений равен единице.

(г) Нет, так как $f(n)$ может быть равна нулю во всех n, если период равен единице. Тогда указанный ряд — тождественный ноль.

(д) Нет. Зададим функцию $f(x)$ следующим образом:

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x = \sqrt{2}k,\ k \in \mathbf{Z}, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Наименьший период этой функции равен $\sqrt{2}$, но так как $\sqrt{2}$ есть иррациональное число, то $f(n) = 0$ при всех натуральных n. Таким образом, радиус сходимости ряда равен бесконечности.

(е) Нет, так как если у $f(x)$ период равен 1, а исходный ряд из пункта (а), то у результирующего ряда радиус сходимости в точности равен 1.

(ж) Да, так как тогда $f(n) = \text{const}$. Поэтому такой ряд сходится вместе с исходным рядом.

(з) Можно легко построить функцию, не являющуюся периодичной с периодом 1, но принимающую значение 0 в целых точках (например, $f(x) = \sin \pi x$). Поэтому ответ — «нет».

5 Формат вступительного экзамена 2011 г.

1. Экзамен по математике проводится в форме письменного теста. Продолжительность экзамена 4 часа, максимальная оценка — «12».

2. Тест состоит из двух частей.

   Первая часть содержит вопросы и задачи по математическому анализу и линейной алгебре, в каждом из которых надо выбрать один правильный ответ из пяти предложенных вариантов.

   Цель этой части экзамена — проверить умение абитуриента решать стандартные задачи (вычислять производные и интегралы, исследовать функции, находить минимальные и максимальные значения функций, умножать и обращать матрицы и т. п.).

   Продолжительность первой части — 2 часа.

   Вторая часть содержит вопросы, объединенные в блоки. В каждом блоке есть вводная часть, описывающая условия, в рамках которых надлежит ответить на вопросы данного блока. Каждый вопрос требует ответа «Да» или «Нет». Число вопросов в пределах каждого блока может быть различным.

   Цель этой части — проверить степень усвоения абитуриентами основных математических понятий, определений, теорем, а также умение применять теорию для решения задач из разных разделов программы экзамена.

   Продолжительность второй части — 2 часа.

3. Правила оценивания теста следующие

   Первая часть:

   * правильный ответ — «$+1$»
   * неправильный ответ — «-0.25»
   * отсутствие ответа — «0»

   Вторая часть:

   * правильный ответ — «$+1$»
   * неправильный ответ — «-1»
   * отсутствие ответа — «0»

4. Максимальное количество баллов, которое можно получить за каждую часть теста, одинаково.

5. Оценка за экзамен определяется суммой баллов, полученных за первую и за вторую части теста. Максимальная оценка — «12».

6. Оценка «2» и ниже считается неудовлетворительной. Абитуриент, получивший неудовлетворительную оценку, к дальнейшим экзаменам не допускается.

7. В день объявления оценок за экзамен по математике абитуриенту предоставляется право ознакомиться со своей работой. При обнаружении технической ошибки в подсчете набранных очков абитуриент имеет право на апелляцию, которая подается в день объявления результатов экзамена и в тот же день рассматривается комиссией.

8. Абитуриенты, имеющие официальный сертификат о сдаче GRE Subject Test in Mathematics, полученный не более двух лет назад с результатом не менее 480 очков, имеют право быть освобожденными от вступительного экзамена по математике. РЭШ рассматривает сертификаты GRE Subject Test in Mathematics, присланные ETS по почте в адрес РЭШ. В этом случае оценка за вступительный экзамен выставляется путем пересчета количества очков, указанных в сертификате, в 12-балльную систему по следующей шкале:

Балл, набранный на экзамене GRE	Оценка, выставляемая в качестве вступительной оценки по математике
820 баллов или больше	12
780—819 баллов	11
750—779 баллов	10
720—749 баллов	9
680—719 баллов	8
640—679 баллов	7
600—639 баллов	6
560—599 баллов	5
520—559 баллов	4
480—519 баллов	3

6 Подготовительные курсы по математике

В Российской Экономической Школе работают платные подготовительные курсы по математике, ориентированные на подготовку слушателей к сдаче вступительных экзаменов по математике в РЭШ. Занятия на курсах ведут опытные преподаватели РЭШ.

Цель курсов:

* напомнить абитуриентам основные понятия математического анализа и линейной алгебры;
* прояснить те разделы теории, которым уделяется недостаточно внимания в традиционных курсах, читаемых в вузах;
* разобрать решения типовых задач вступительных экзаменов в РЭШ;
* повысить общий математический уровень слушателей;
* подготовить к обучению в РЭШ.

Подготовительные курсы работают по двум программам:

* **Курс 100 ак. часов: февраль—июнь 2011 г. Начало занятий — 16 февраля.** Курс предусматривает систематическое рассмотрение всех разделов математического анализа и линейной алгебры в объеме программы вступительного экзамена в РЭШ. Занятия 2 раза в неделю (среда с 18:30, 3 ак. часа лекция, и суббота с 11:00, 2 ак. часа семинар). Стоимость 16000 руб., оплата в 2 этапа: до начала занятий — 8500 руб., до 31 марта — 7500 руб.
* **Курс 50 ак. часов: апрель—июнь 2011 г. Начало занятий — 26 апреля.** В интенсивном курсе рассматриваются наиболее сложные разделы программы. Занятия 2 раза в неделю (вторник и пятница, 18:30 по 3 ак. часа). Стоимость 8000 руб.

Запись на курсы: Координатор подготовительных курсов — Кулагина Ольга Ивановна, тел. (495) 779-1401, email okulagin@nes.ru.

7 Подготовительные курсы по математике на видео

В апреле 2010 года Российская экономическая школа совместно с Интернет университетом информационных технологий начала видеозапись курсов по математике 50 ак. часов. Все записи находятся в свободном доступе на сайте школы.

8 Календарь абитуриента 2011 г.

8.1 Дни открытых дверей

4 декабря 2010 г. (суббота), 11:00

10 февраля 2011 г. (четверг), 18:00

16 апреля 2011 г. (суббота), 11:00

8.2 Прием документов online

с 1 марта по 1 июля 2011 г.

8.3 Вступительные экзамены

с 6 по 15 июля 2011 г.

9 Адрес РЭШ

117418, Москва, Нахимовский проспект, 47 (здание ЦЭМИ РАН), 17 этаж, офис 1721, тел. (495) 779-1401, (495) 956-9508, (499) 129-3844, проезд до ст. метро «Профсоюзная». http://www.nes.ru.