

Министерство образования Республики Беларусь
Учебно-методическое объединение вузов Республики Беларусь
по естественно-научному образованию

УТВЕРЖДАЮ
Первый заместитель Министра образования
Республики Беларусь

 А. Д. Жук
« 01 » _____ 2008 г.

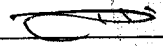
Регистрационный № ТД- Г. 156 /тип.

ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА

**Типовая учебная программа
для высших учебных заведений по специальности
1-31 05 01 Химия (по направлениям)**

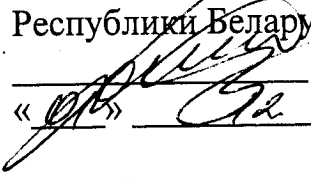
СОГЛАСОВАНО

Председатель
учебно-методического объединения
вузов Республики Беларусь
по естественно-научному
образованию


 В. В. Самохвал
« _____ » _____ 2008 г.

СОГЛАСОВАНО

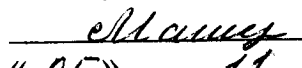
Начальник Управления высшего и
среднего специального образования
Министерства образования
Республики Беларусь

 Ю. И. Миксюк
« 01 » _____ 2008 г.

Первый проректор Государственного
учреждения образования
«Республиканский институт высшей
школы»

 И. В. Казакова
« 01 » _____ 2008 г.

Эксперт-нормоконтролер

 Н. П. Машерова
« 05 » _____ 2008 г.

Минск 2008

СОСТАВИТЕЛИ:

В. Г. Скатецкий – профессор кафедры общей математики и информатики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доктор педагогических наук профессор;

В. И. Яшкин – доцент кафедры общей математики и информатики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

В. А. Прокашева – доцент кафедры общей математики и информатики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

кафедра математического анализа и дифференциальных уравнений Учреждения образования «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина»;

кафедра геометрии и математического анализа Учреждения образования «Витебский государственный университет имени П. М. Машерова»;

И. В. Белько – заведующий кафедрой прикладной математики и экономической кибернетики Учреждения образования «Белорусский государственный экономический университет», доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:

кафедрой общей математики и информатики механико-математического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 7 от 15.02.2008);

научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 4 от 22.05.2008);

научно-методическим советом по химии Учебно-методического объединения вузов Республики Беларусь по естественно-научному образованию (протокол № 4 от 23.06.2008).

Ответственный за выпуск: Яшкин В.И.

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Высшая математика» является основой физико-математической подготовки специалистов-химиков университетского профиля.

Цель дисциплины – изучить основные методы математики, которые являются востребованными при изучении смежных и специальных дисциплин для химических специальностей, а также подготовить студентов к самостоятельному изучению тех разделов математики, которые могут понадобиться в практической и исследовательской работе. Вместе с другими дисциплинами изучение курса математики должно содействовать развитию научного мышления студентов.

Программа учитывает современные потребности смежных и специальных дисциплин в математическом образовании студентов, и состоит из четырех разделов: аналитической геометрии и основ алгебры; математического анализа; дифференциальных уравнений; теории вероятностей и математической статистики.

В результате изучения дисциплины «Высшая математика» обучаемый должен:

знать

- методы теории чисел и элементы математической логики,
- методы аналитической геометрии, линейной и векторной алгебры,
- методы математического анализа,
- методы решения дифференциальных уравнений и краевых задач математической физики,
- методы теории вероятностей и математической статистики;

уметь

- выполнять действия над действительными и комплексными числами,
- проводить логические рассуждения с применением формальных математических обозначений,
- строить на плоскости и в пространстве графики функциональных зависимостей, по графикам находить зависимость между переменными,
- проводить математическую обработку и анализ результатов химического эксперимента,
- применять математические методы для построения и решения математических моделей химических и экологических процессов.

При изложении курса математики для химических специальностей необходимо соблюдать достаточную умеренность в отношении полноты и математической строгости предлагаемого для изучения материала. Поэтому некоторые положения программы, изложение которых может проводиться на понятийном уровне, даются в квадратных скобках.

Программа отражает профессиональную направленность курса математики и учитывает современные потребности в математическом образовании студентов-химиков. В программе курсивом выделены задачи химического и экологического содержания; в квадратных скобках указаны темы, которые для каждого конкретного учебного курса могут излагаться с

требуемой подробностью в зависимости от потребностей смежных и специальных дисциплин.

Программа имеет в основном объемный характер. В зависимости от специализации аудитории, ее подготовленности, отдельным разделам дисциплины может посвящаться количество часов, отличное от приведенного в данной программе. Расположение материала в каждом из разделов, составляющих содержание курса, является условным и при необходимости может быть изменено.

Для организации самостоятельной работы студентов по данной дисциплине рекомендуется разместить в сетевом доступе комплекс учебных и учебно-методических материалов: программа, список рекомендуемой основной и дополнительной литературы, экзаменационные вопросы, краткий лекционный курс, индивидуальные задания для самостоятельного решения, методические указания и рекомендации по выполнению заданий практикума, задания для контроля в тестовой форме, темы рефератов.

Программа рассчитана на 390 часов, в том числе 204 часа аудиторных занятий: лекции – 90 часов, практические занятия с учетом контроля самостоятельной работы студентов – 114 часов.

2. ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ п/п	Название темы	Лекции	Практ. занятия	Всего
1.	АНАЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОМЕТРИЯ И ОСНОВЫ АЛГЕБРЫ	20	24	44
2.	МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	30	42	72
3.	ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ	16	18	34
4.	ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА	24	30	54
	Итого	90	114	204

3. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОМЕТРИЯ И ОСНОВЫ АЛГЕБРЫ

Метод координат. Действительные числа как координаты точек на прямой. Прямоугольные координаты на плоскости и в пространстве. Преобразование координат на плоскости: параллельный перенос и поворот осей координат. [Деление отрезка в заданном отношении]. *Координаты центра масс.* Полярные координаты на плоскости. Цилиндрические и сферические координаты в пространстве. [Аффинная система координат]. *Задачи о кристаллической решетке.*

Прямая на плоскости. Уравнение прямой на плоскости. Угловой коэффициент прямой. Угол между двумя прямыми; условия параллельности и перпендикулярности прямых. Расстояние от точки до прямой.

Линии второго порядка. Эллипс, гипербола, парабола; их

уравнения и основные свойства. Окружность.

Матрицы и определители. Основные определения. Алгебра матриц. Определители n -го порядка и их свойства. Обратная матрица. [Теорема существования и единственности обратной матрицы]. Ранг матрицы.

Системы линейных уравнений. Формы записи линейных систем. Совместимые и несовместимые, определенные и неопределенные системы. Метод Гаусса. Правило Крамера. Критерии совместимости и определенности линейных систем. Однородная система линейных уравнений. *Задачи о приготовлении сложных смесей. Задачи экологической безопасности.*

Векторная алгебра. Определение вектора. Условия коллинеарности и компланарности двух векторов. Радиус-вектор точки. Орты, направляющие косинусы вектора. Линейная зависимость и независимость векторов.

Скалярное произведение двух векторов и его свойства; выражение через координаты сомножителей. Угол между векторами; условия параллельности и ортогональности векторов.

Векторное произведение двух векторов и его свойства; выражение через координаты сомножителей *Момент силы.*

Смешанное произведение трех векторов, его геометрический смысл, свойства, выражение через координаты сомножителей (в виде определителя), условие компланарности трех векторов.

Плоскость и прямая в пространстве. Уравнение плоскости. Уравнения прямой: канонические, параметрические, векторное. Угол между двумя плоскостями, между прямыми, между прямой и плоскостью. Расстояние от точки до плоскости. Взаимное расположение двух плоскостей, двух прямых, прямой и плоскости.

Простейшие поверхности. Понятие об уравнении поверхности. Цилиндрические поверхности. Поверхности вращения второго порядка. Сфера. Эллипсоид. Гиперболоиды. Параболоиды. Канонические уравнения поверхности.

Комплексные числа. Алгебраическая, тригонометрическая и показательная формы записи комплексных чисел. Действия над комплексными числами. Формула Муавра.

Линейные пространства. Линейное (векторное) пространство. Подпространство. Линейная зависимость и линейная независимость элементов линейного пространства. Базис и размерность. [Изоморфизм линейных пространств. Сумма и пересечение подпространств] *Линейные пространства атомных и молекулярных составляющих (построение атомной матрицы).*

Линейное преобразование (линейный оператор) и его матрица. Ранг линейного оператора. Характеристическое уравнение и собственные векторы линейного оператора. [Инвариантные подпространства]. Евклидовы пространства. Ортогональные, унитарные, эрмитовы операторы. [Квадратичные формы].

Группы. Определение группы, примеры групп. Подгруппа. Группа линейных преобразований: группа вращений, группа симметрических

преобразований. *Группа симметрии молекул формальдегида, аммиака.* [Изоморфизм и гомоморфизм групп]. Линейные представления конечных групп. [Изоморфные представления]. Прямая сумма представлений. Приводимые и неприводимые представления. Характеристики представлений и их свойства. [Разложение приводимого представления на неприводимые]. *Растворы образованные двумя полярными компонентами.*

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Функции и пределы. Определение функции. Последовательности как пример функции. Предел последовательности. Сходящиеся и монотонные последовательности. *Число e .* Предел функции. *Односторонние и бесконечные пределы.* Бесконечно малые, бесконечно большие, ограниченные и неограниченные функции. Сравнение бесконечно малых и бесконечно больших функций. Сложные функции.

Непрерывные функции и их свойства, непрерывность сложной функции. *Классификация точек разрыва.*

Производные и дифференциалы. Производные элементарных функций. Уравнения касательной и нормали к плоской кривой. *Скорость реакции* Дифференцирование сложной функции, неявной, параметрически заданной, вектор-функции и др. Дифференциал функции. *Уравнение материального баланса.*

Производные и дифференциалы высших порядков. Основные теоремы дифференциального исчисления. Формулы конечных приращений Лагранжа и Коши. Правило Лопиталья-Бернулли. Раскрытие неопределенностей. Формула Тейлора.

Локальный экстремум функции. Исследование локального экстремума с помощью первой и второй производных. [Глобальный экстремум]. Направление вогнутости графика функции, точки перегиба. Асимптоты. Исследование функций и построение их графиков. *Задача о максимальной концентрации промежуточного вещества в случае двухстадийной и автокаталитической реакции.* Приближенное решение конечных уравнений: отделение корней, метод направленного перебора, метод хорд, метод касательных, [итерационный метод].

Неопределенный интеграл. Первообразная, неопределенный интеграл и его свойства. Таблица основных неопределенных интегралов. Интегрирование по частям, замена переменной. Интегрирование рациональных функций, простейших иррациональных и трансцендентных выражений.

Определенный интеграл. Интегральные суммы, определенный интеграл, его геометрическое толкование. Основные свойства. Теорема о среднем, формула Ньютона-Лейбница. Приложения: вычисление площади фигуры, длины дуги, площади поверхности вращения, работы; статические моменты, моменты инерции, координаты центра масс. *Математическое описание процесса перегонки.* Алгоритмы численного интегрирования.

Несобственные интегралы. Интегралы с бесконечными пределами интегрирования. Интегралы от неограниченных функций. Абсолютная сходимость несобственного интеграла. Признаки сравнения. Интеграл

Эйлера-Пуассона (сходимость, вычисление значения).

Дифференциальное исчисление функций нескольких переменных. [Множества в n -мерном пространстве, замкнутые и открытые множества, области, компакты]. Функции n переменных ($n=2, 3$). Предел и непрерывность функции n переменных. Частные производные и дифференциалы первого и более высоких порядков. [Теорема о независимости смешанных производных от порядка дифференцирования].

Экстремум функции двух переменных. *Описание процесса последовательной экстракции.* Интерполяция и аппроксимация функций. Метод наименьших квадратов (МНК). Условный экстремум, метод множителей Лагранжа. *Определение константы скорости реакций.*

Касательная к пространственной линии, касательная плоскость, нормаль к поверхности. [Теорема о существовании неявной функции].

Скалярные и векторные поля. Производная по направлению. Градиент скалярного поля. Физико-химические приложения.

Интегральное исчисление функций нескольких переменных. Двойной интеграл: определение, свойства, вычисление, замена переменных, приложения. Тройной интеграл: определение, свойства, вычисление, замена переменных, приложения.

Криволинейные интегралы по длине дуги и по координатам, вычисление, приложения.

Циркуляция векторного поля. Формула Грина. Критерий независимости криволинейного интеграла от пути интегрирования.

Интегралы по поверхности. Поток векторного поля через поверхность. Дивергенция. Ротор векторного поля. Формулы Остроградского и Стокса. Критерий потенциальности векторного поля. Операторы Лапласа и Гамильтона.

Ряды. Сходимости числовых рядов. Необходимое условие сходимости. Остаток ряда. Признаки сходимости рядов с положительными членами: сравнение, предельный признак сравнения, признаки Коши, Даламбера, интегральный признак. Гармонический ряд, геометрический ряд. *Описание десорбционных процессов.* Знакопеременные ряды, признак Лейбница. Ряд Лейбница. Знакопеременные ряды. Абсолютная и условная сходимости. Действия над рядами.

Степенные ряды. Теорема Абеля. Радиус и интервал сходимости. Почленное дифференцирование и интегрирование степенных рядов. Ряд Тейлора. Разложение основных элементарных функций в степенные ряды. Формула Эйлера.

Ряды Фурье. Формулы для вычисления коэффициентов. Ряды Фурье для четных и нечетных периодических функций. [Теорема о сходимости ряда Фурье]. Ряды Фурье в комплексной форме. Интеграл Фурье. Преобразование Фурье.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Обыкновенные дифференциальные уравнения. Основные определения. Существование и единственность решения. Дифференциальные уравнения первого порядка: с разделяющимися переменными, однородные, линейные, в полных дифференциалах. *Определение порядка реакции, радиоактивный распад.* Решение дифференциальных уравнений с помощью рядов. Численное решение дифференциальных уравнений; обобщение метода Эйлера в методах Рунге-Кутты.

Дифференциальные уравнения второго порядка: случаи понижения порядка. Системы независимых функций. Функциональный определитель Вронского. Линейные дифференциальные уравнения второго порядка: структура решений однородного и неоднородного уравнений. *Кинетические уравнения.*

Линейные дифференциальные уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами: построение общего решения. Задача Коши. *Уравнения колебаний.*

Некоторые дифференциальные уравнения n -го порядка, допускающие интегрирование; уравнения с правыми частями специального вида. Понятие о системах линейных дифференциальных уравнений. [Существование и единственность решения].

Дифференциальные уравнения с частными производными. Основные понятия. Линейные уравнения с частными производными первого порядка. *Уравнения движения идеальной жидкости.* Основные дифференциальные уравнения математической физики. Линейные уравнения второго порядка: волновое уравнение, уравнение теплопроводности. Задачи о диффузии. Метод Фурье. Задача Коши и граничные задачи для уравнений параболического типа. *Задачи о загрязнении окружающей среды.* Задача Коши и граничные задачи для уравнений гиперболического типа. Уравнение Лапласа. Задача Дирихле. Задача Дирихле для круга. Краевые задачи для стационарных уравнений. Система уравнений Максвелла. Уравнение Шрёдингера. *Расчет энергетических уровней и волновых функций частицы.*

ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА

Основы теории вероятностей. *Математические модели случайных процессов в практике химических экспериментов и в построении экологических проектов.* Вероятностные пространства. Классическое определение вероятности. Схема Бернулли. [Аксиоматика А. А. Колмогорова]. Свойства вероятности. Теоремы сложения и умножения вероятностей. Независимость событий. Условная вероятность. Формула полной вероятности. Формулы Байеса.

Случайные величины. Функции распределения случайных величин и их свойства. Дискретные случайные величины. Непрерывные (абсолютно непрерывные) случайные величины. Плотность распределения вероятностей. Вероятность попадания значений случайные величины в заданный интервал.

Функции случайных величин. *Задача о случайном блуждании частицы.*

Совместное распределение случайных величин. Условная вероятность. Дискретные двумерные случайные величины. Непрерывные двумерные случайные величины. Плотность распределения вероятностей двумерных. Формулы умножения плотностей. Вероятность попадания значений случайных величин в заданный интервал. n -мерные случайные величины.

Числовые характеристики случайных величин и их свойства. Характеристики положения: математическое ожидание, мода медиана, квантили, критические точки. Характеристики рассеяния: дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации. Начальный и центральный моменты k -го порядка. Числовые характеристики и их свойства двумерных случайных величин. Корреляционный момент, коэффициент корреляции. [Ковариационная матрица]. *Задачи о среднем содержании примеси и отклонениях от него в веществе.*

Основные распределения. Нормальное распределение. Функция Лапласа. Исследование нормальной функции плотности. Равномерное распределение. Показательное распределение. Характеристическая функция случайной величины. Законы сложения распределений случайных величин. Основные статистические распределения. Гамма-распределение, t -распределение Стьюдента, распределение хи-квадрат Пирсона, хи-распределение, F -распределение Фишера–Седекора. Вычисление квантилей и критических точек. *Задача о распределении примеси в пробах. Вероятностная модель кинетики перемешивания.*

Закон больших чисел, предельные теоремы. Неравенства Маркова и Чебышева. Закон больших чисел Чебышева. Закон больших чисел Бернулли. Центральная предельная теорема. Интегральная и локальная теоремы Муавра–Лапласа. *Примеры экологических моделей.*

Элементы математической статистики. Предмет и задачи математической статистики. Выборочный метод. Вероятностная модель выборки. Вариационные ряды. Статистическое распределение и его числовые характеристики. Статистическая (эмпирическая) функция распределения. Числовые характеристики дискретных и интервальных вариационных рядов. Графическое изображение вариационных рядов: гистограмма, полигон частот (относительных частот), кумулята, огива.

Статистическое оценивание. Точечное оценивание. Свойства оценок. Метод моментов. Метод максимального правдоподобия (ММП). Построение доверительных интервалов для математического ожидания нормально распределенных случайных величин. Построение доверительных интервалов для дисперсии нормально распределенных случайных величин. *Задачи о выбраковке результатов химического анализа.*

Статистическая проверка статистических гипотез. Проверка статистических гипотез. Общая схема построения статистических критериев. Критерии значимости для параметров нормально распределенных совокупностей. Мощность критерия. Ошибки 1^{го} и 2^{го} рода. Методы построения оптимальных критериев. Критерии согласия. Критерий χ^2

построения оптимальных критериев. Критерии согласия. Критерий χ^2 Пирсона. λ -критерий Колмогорова. Критерий Смирнова.

Элементы регрессионного и корреляционного анализа. Линейная регрессия и метод наименьших квадратов. [Связь МНК и ММП]. Свойства МНК-оценок. Эмпирическая функция регрессии. Выборочный коэффициент корреляции. Свойства и проверка значимости выборочного коэффициента корреляции. *Задача об определении гидратного числа при экстракции карбоновой кислоты.* Множественная линейная регрессия. Регрессионная модель общего вида. *Построение доверительных интервалов для регрессионных кривых при статистической обработке эксперимента.* Математическая обработка результатов наблюдений с помощью современных компьютерных программ.

ПРИМЕЧАНИЕ

1. Практические занятия проводятся по всем разделам курса высшей математики. Перечень практических занятий утверждает кафедра, которой поручено чтение лекций по курсу математики.
2. По согласованию с кафедрами химического профиля утверждается перечень задач, связанных с применением математических объектов в химии, экологии и химической технологии.

4. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1. Рекомендуемые темы тестов

1. Основные понятия и методы школьного базового курса.
2. Элементы комбинаторики и математической логики.
3. Задачи матричной алгебры.
4. Векторы. Системы координат.
5. Дифференцирование функции одной действительной переменной.
6. Неопределенный интеграл от функции одной действительной переменной.
7. Применение производной и определенного интеграла в химии и экологии.
8. Дифференцирование функций многих действительных переменных.
9. Интегрирование функций многих действительных переменных.
10. Обыкновенные дифференциальные уравнения и их системы.
11. Сходимость рядов.
12. Линейные пространства. Начала теории групп.
13. Дифференциальные уравнения в частных производных.
14. Теория вероятностей.
15. Методы математической статистики.

4.2. Рекомендуемые темы контрольных работ и коллоквиумов

Контрольные работы

1. Основы алгебры (матрицы, определители, системы линейных алгебраических уравнений).
2. Аналитическая геометрия (на плоскости и в пространстве).
3. Дифференциальное и интегральное исчисление функций одной действительной переменной.
4. Дифференциальное и интегральное исчисление функций многих действительных переменных.
5. Обыкновенные дифференциальные уравнения и ряды.
6. Дифференциальные уравнения в частных производных. Элементы теории поля.
7. Теория вероятностей (случайные события, случайные величины, закон больших чисел, предельные теоремы).
8. Математическая статистика (выборочный метод, статистическое оценивание и проверка статистических гипотез, элементы регрессионного и корреляционного анализа).

Коллоквиумы

1. Комплексные числа.
2. Основные понятия и теоремы матричной алгебры.
3. Основные формулы и теоремы аналитической геометрии.
4. Основные теоремы дифференциального исчисления функции одной действительной переменной.
5. Ряды и их приложения.

6. Основные понятия и теоремы теории поля.
7. Краевые задачи для дифференциальных уравнений в частных производных.
8. Закон больших чисел и предельные теоремы.
9. Основные теоремы вероятностей событий.
10. Основные понятия теории групп.
11. Численные методы.

4.3. Рекомендуемые темы рефератов

1. Математика и химические постоянные.
2. Элементы теории погрешности эксперимента.
3. Функции от матриц.
4. Основные законы распределения случайных величин и их применение в химии и экологии.
5. Закон Бугера–Ламберта–Бера.
6. Седиментация частиц в жидкости.
7. Модели очистки грунтовых вод.
8. Уравнение Аррениуса и метод наименьших квадратов.
9. Математические методы решения обратной задачи кинетики.
10. Жидкие кристаллы: математическое описание физико-химических характеристик.
11. Построение и исследование линий рабочих концентраций.
12. Численные методы в химии.
13. Математические модели кристаллических решеток.
14. Кинетика последовательно-параллельных реакций второго и третьего порядка.
15. Исследование адекватности: опыт и теория.
16. Применение закона больших чисел и предельных теорем в экологии.
17. Стехиометрическое правило Гиббса.
18. Математическое исследование колебаний многоатомных молекул.
19. Кинетика химической реакции в условиях диффузии.
20. Математические методы компьютерной химии.
21. Статистическая обработка результатов химического эксперимента.

4.4. Рекомендуемая литература

Основная

1. Скатецкий, В. Г. Лекции по математике для студентов химических специальностей. – Минск: БГУ, 2003. – 387 с.
2. Гусак, А. А. Высшая математика: [в 2 т.]. Т. 1, 2. / А. А. Гусак. – Минск, ТетраСистемс, 1998. – Т.1 544 с., Т.2 448 с.
3. Гусак, А. А. Задачи и упражнения по высшей математике. : [в 2 ч.]. Ч.1 и 2 / А.А. Гусак. – 2-е изд., пераб. – Минск: Вышэйшая школа, 1988. – Ч. 1 256 с., Ч. 2 229 с.

4. Письменный, Д. Т. Конспект лекций по высшей математике:[в 2 ч.]. Ч. 1 и 2 / Д. Т. Письменный. – 4-е изд. – М.: Айрис-пресс, 2006. – Ч. 1 256 с. и Ч. 2 256 с.

5. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – 6-е изд., стереотип. – М.: Высшая школа, 2002. – 479 с.

6. Гмурман, В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике / В. Е. Гмурман. – 4-е изд., стереотип. – М.: Высшая школа, 2003. – 400 с.

Дополнительная

7. Кудрявцев, Л. Д. Математический анализ:[в 2 т.]. Т. 1 и 2 / Л. Д. Кудрявцев. – М.: Высшая школа, 2004. – 424 с.

8. Скатецкий, В.Г. Математическое моделирование физико-химических процессов / В.Г. Скатецкий, Д.В. Свиридов, В.И. Яшкин. – Минск: БГУ, 2003. –393 с.: ил.

9. Батунер, Л. М. Математические методы в химической технике / Л. М. Батунер, М. Е. Позин. – Л.: Химия, 1971. – 823 с.

10. Гусак, А. А. Ряды и кратные интегралы / А.А. Гусак. – Минск: Изд. БГУ, 1970. – 384 с.

11. Письменный, Д. Т. Конспект лекций по теории вероятностей, математической статистике и случайным процессам / Д. Т. Письменный. – М.: Айрис-пресс, 2006. – 288 с.