

Программа Профиля «Прикладная математика и искусственный интеллект»

1. Компетентностная модель

Аналитическая деятельность.

Описание деятельности. Деятельность по анализу и систематизации данных для научных исследований или учебного процесса

1. МиИИ_АД_1. Базовый уровень способностей к анализу, структурированию и систематизации данных (знать, уметь, владеть).

Проектно-ориентированная деятельность.

Описание деятельности. Деятельность по организации и реализации проектов в составе научного коллектива

1. МиИИ_ПД_1. Базовый уровень способностей реализации проектов в области математики и искусственного интеллекта (знать, уметь, владеть).

Научно-исследовательская деятельность

Описание деятельности. Деятельность по использованию аппарата современной математики и инструментов, на основе искусственного интеллекта, для решения актуальных научно-исследовательских задач

1. МиИИ_НИР_1. Базовый уровень способностей решения исследовательских задач в областях связанных с математикой и искусственным интеллектом (знать, уметь, владеть).
2. МиИИ_НИР_2. Базовый уровень способностей представления результатов научной деятельности (знать, уметь, владеть).

Выявляемая компетенция	Победитель Олимпиады «Open doors» по профилю «Математика и искусственный интеллект» должен:		
	Знать	Уметь	Владеть
МиИИ_АД_1	Способы и методы анализа данных на основе принципов фундаментальной математики	Выбирать и обосновывать методы решения поставленных задач Собирать данные по заданным критериям Современное программное обеспечение для обработки данных	Навыками создания статистических отчетов, графиков, диаграмм и схем, базовых моделей по выбранным данным Навыками подготовки части плана исследовательского проекта, заявки Базовыми навыками разработки кейсов и задач(заданий) с использованием результатов научной деятельности
МиИИ_ПД_1	Стадии жизни	Планировать этапы	Навыками

	(этапы) проектов в области математики и искусственного интеллекта Основные принципы проектной деятельности	проекта с использованием методов визуализации и инструментов проектной деятельности (например, диаграммы Ганта, чек-листы)	планирования собственной деятельности для успешной реализации порученной части проекта
МиИИ_НИР_1	Фундаментальные основы работы искусственного интеллекта Фундаментальные концепции современной математики Основные направления приложений математики в других областях знаний	Применять знания из различных разделов математики для получения известных решений исследовательских задач Выбирать подходящие математические абстракции для поставленной научно-исследовательской задачи	Базовыми навыками вывода и доказательства известных теорем в современной математики (в области своей специализации) Базовыми навыками прогнозирования результатов своей научно-исследовательской деятельности (базовый навык постановки научных гипотез)
МиИИ_НИР_2	Формы и способы представления результатов научной деятельности	Составлять черновик (драфт) научной статьи (раздела статьи) по результатам проведенного исследования Составлять план выступления на научном или научно-образовательном мероприятии по результатам собственной научной деятельности Готовить материалы для выступления по предложенной научной тематике	Базовыми навыками работы в текстовых редакторах (Word или LaTeX), программах для презентаций (PowerPoint, Prezi)

2. Тематическое содержание Профиля

Тематический блок 1. Линейная алгебра и аналитическая геометрия

1. Многочлены. Степень многочлена, корень многочлена, кратность корня. Теорема Безу. Деление многочленов с остатком. Наибольший общий делитель многочленов. Интерполяционный многочлен в формах Лагранжа и Ньютона.
2. Комплексные числа. Алгебраическая и тригонометрическая формы. Извлечение корня из комплексного числа. Основная теорема алгебры.
3. Системы линейных алгебраических уравнений. Правило Крамера. Теорема Кронекера-Капелли. Общее решение линейной алгебраической системы уравнений.
4. Линейное пространство, базис и размерность пространства. Подпространства, их сумма и пересечение. Линейное преобразование конечномерного пространства, его матрица. Формула изменения матрицы линейного преобразования при замене базиса.
5. Собственные векторы и собственные значения, их свойства.
6. Евклидовы пространства. Линейные преобразования в евклидовых пространствах.
7. Билинейные и квадратичные формы.
8. Векторы и их свойства. Скалярное, векторное и смешанное произведения.
9. Различные способы задания прямой и плоскости. Углы между прямыми и плоскостями. Формулы расстояния от точки до прямой и плоскости. Расстояние между скрещивающимися прямыми.
10. Кривые второго порядка. Эллипс, парабола, гипербола и их свойства.
11. Поверхности второго порядка. Эллипсоид, однополостный гиперболоид, двуполостный гиперболоид, эллиптический параболоид, гиперболический параболоид.
12. Аффинное преобразование плоскости и его свойства.
13. Ортогональное преобразование плоскости и его свойства.

Тематический блок 2. Вещественный и комплексный анализ

1. Предел числовой последовательности и его свойства. Критерий Коши. Частичный предел, верхний и нижний пределы. Теорема Больцано-Вейерштрасса. Предел в точке функции одной переменной и его свойства. Эквивалентность двух определений предела по Коши и Гейне. Критерий Коши.
2. Непрерывность функции в точке. Свойства непрерывной функции на отрезке: теоремы Вейерштрасса и Больцано-Коши. Теорема об обратной функции. Равномерная непрерывность, теорема Кантора.
3. Производная в точке функции одной переменной и её свойства. Производная суперпозиции функций. Дифференцируемость функции в точке, дифференциал функции. Дифференцирование обратной функции. Производные и дифференциалы высших порядков функции одной переменной. Формула Лейбница. Теоремы о среднем для дифференцируемых функций Ролля, Лагранжа и Коши. Правило Лопиталья. Формула Тейлора с остаточным членом в форме Лагранжа и Пеано. Нахождение пределов функций с помощью формулы Тейлора и правила Лопиталья. Исследование функции одной переменной с помощью производных: монотонность, экстремумы, выпуклость, перегибы.
4. Неопределенный интеграл. Определенный интеграл. Критерий Дарбу интегрируемости функции. Свойства интеграла с переменным верхним пределом: непрерывность, дифференцируемость. Формула Ньютона-Лейбница. Геометрические приложения определенного интеграла. Несобственный интеграл. Абсолютная и условная сходимость. Критерий Коши, признаки сравнения и признак Дирихле сходимости несобственного интеграла.
5. Дифференцируемость функции нескольких переменных. Необходимые условия и достаточные условия дифференцируемости. Градиенты функции. Теорема о неявной функции. Локальный экстремум функции нескольких переменных. Необходимые условия и достаточные условия локального экстремума. Условный

- экстремум функции нескольких переменных. Метод множителей Лагранжа, необходимые и достаточные условия условного экстремума.
6. Числовые ряды. Абсолютная и условная сходимость. Критерий Коши, признаки сравнения, интегральный признак, признаки Даламбера и Коши, признаки Лейбница и Дирихле сходимости числовых рядов. Функциональные ряды. Равномерная сходимость. Критерий Коши, признаки Вейерштрасса и Дирихле равномерной сходимости. Степенные ряды. Радиус сходимости, формула Коши-Адамара. Ряд Тейлора. Разложение элементарных функций в ряд Тейлора.
 7. Криволинейные интегралы. Формула Грина. Поверхностные интегралы. Формула Остроградского-Гаусса и формула Стокса.
 8. Тригонометрический ряд Фурье. Условия сходимости ряда Фурье в точке. Условия равномерной сходимости ряда Фурье. Преобразование Фурье абсолютно интегрируемой функции и его свойства. Преобразование Фурье производной и производная преобразования Фурье.
 9. Комплексные числа и их свойства.
 10. Функции комплексного переменного. Дифференцируемость и аналитичность.
 11. Интеграл от функции комплексного переменного. Интегральная теорема Коши. Интегральная формула Коши.
 12. Принцип максимума и лемма Шварца.
 13. Ряды Тейлора и Лорана.
 14. Вычет в изолированной особой точке. Теорема Коши о вычетах. Вычисление интегралов при помощи вычетов. Лемма Жордана.
 15. Конформные отображения. Дробно-линейное отображение и его свойства. Функция Жуковского и её свойства.

Тематический блок 3. Дифференциальные уравнения

1. Обыкновенные дифференциальные уравнения. Метод разделения переменных. Методы понижения порядка уравнения, метод введения параметра.
2. Линейные обыкновенные дифференциальные уравнения и системы уравнений с постоянными коэффициентами. Методы их решения.
3. Линейные обыкновенные дифференциальные уравнения и системы уравнений с переменными коэффициентами. Фундаментальная система решений. Определитель Вронского и формула Лиувилля-Остроградского. Метод вариации постоянных.
4. Положение равновесия автономной системы дифференциальных уравнений. Классификация положений равновесия линейных автономных систем второго порядка. Устойчивость и асимптотическая устойчивость положения равновесия. Первые интегралы автономной системы дифференциальных уравнений. Теорема о числе независимых первых интегралов.
5. Задача Штурма-Лиувилля. Энергетическое тождество и слабое решение. Функция Грина. Спектр оператора Штурма-Лиувилля.
6. Линейные дифференциальные уравнения в частных производных, общее решение и задача Коши.
7. Простейшая задача вариационного исчисления. Уравнение Эйлера. Необходимое условие слабого локального экстремума.

Тематический блок 4. Теория вероятностей и математическая статистика

1. Основы комбинаторики: правила подсчета, правила сложения и умножения, сочетания с повторениями и без повторений, биномиальные коэффициенты и бином Ньютона.
2. Вероятностное пространство. Независимые события. Теорема сложения. Условная вероятность. Полная система событий. Формула полной вероятности. Формула Байеса.

3. Случайная величина и её функция распределения. Математическое ожидание и дисперсия случайной величины, их свойства.
4. Основные виды распределений случайных величин: биномиальное, геометрическое, равномерное, пуассоновское, экспоненциальное, нормальное. Испытания Бернулли. Неравенство Чебышева и закон больших чисел.
5. Совместное распределение нескольких случайных величин. Независимость случайных величин. Ковариация. Коэффициент корреляции.
6. Оценивание параметров распределений. Проверка статистических гипотез.

Тематический блок 5. Машинное обучение

1. Постановка задачи обучения с учителем для задач регрессии и бинарной классификации. Линейная регрессия. Метод наименьших квадратов. Вычисление коэффициентов линейной регрессии. Регуляризация L1 и L2.
2. Метрики оценки расстояния между объектами в многомерном пространстве. Классификация и регрессия с помощью метода k-ближайших соседей. Взвешивание объектов в рамках принятия решения с помощью алгоритма KNN.
3. Теорема Байеса: применения для пересчета результатов работы классификатора. Наивный байесовский классификатор: построение, применения для задач классификации.
4. Деревья принятия решений: построение, критерии расщепления дерева. Применение деревьев для классификации и регрессии. Построение ансамбля моделей для решения задач классификации и регрессии. Бэггинг, бустинг.
5. Метрики оценки качества регрессии и бинарной классификации. Вычисление скорректированного коэффициента детерминации. ROC-кривая: способ построения, свойства, интерпретация. Метод расчёта ROC AUC.
6. Обучение без учителя. Кластерный анализ данных. Постановка задачи кластеризации данных. Метрики оценки качества кластеризации. Методы расчета расстояния между кластерами.
7. Кластеризация с помощью графов. Кластеризация через построение остоного дерева. Алгоритм Прима. Алгоритм Краскала.
8. Метод K-средних. Постановка задачи и организация вычислений. Инициализация метода. Алгоритм K-means++. Выбор числа кластеров. Метод «локтя».
9. Иерархическая агломеративная кластеризация. Дендрограмма. Метод Уорда.
10. Сокращение размерности. Метод главных компонент. Метод независимых компонент.
11. Математическая модель искусственного нейрона. Нейронные сети прямого распространения. Математическая модель многослойного персептрона. Функции активации. Обучение нейронной сети как задача оптимизации. Алгоритм обратного распространения ошибки. Функции потерь. Расчёт градиента целевой функции. Простой и стохастический градиентный спуск.
12. Глубокое обучение. Сверточные нейронные сети. Структура сверточной сети. Назначение и принцип работы сверточного слоя

Тематический блок 6. Дискретная математика

1. Деление с остатком. НОД и НОК. Алгоритм Евклида. Диофантовы уравнения. Простые числа. Методы факторизации.
2. Позиционная запись натуральных чисел. Алгоритмы перевода чисел из одной системы счисления в другую.
3. Арифметика остатков. Линейные сравнения. Китайская теорема об остатках. Система остаточных классов.
4. Функция Эйлера. Малая теорема Ферма. Теорема Эйлера. Шифрование RSA.

5. Общие правила и формулы комбинаторики. Перечислительная комбинаторика. Принцип включения-исключения.
6. Граф. Свойства графов. Поиск в глубину и в ширину. Связность графов. Алгоритм Косарайю. Планарный граф. Теорема Эйлера.
7. Эйлеров путь в графе. Гамильтонов путь в графе. Алгоритм Дейкстры. Алгоритм Флойда-Уоршелла.
8. Остовные деревья в графе. Алгоритм Прима. Алгоритм Краскала.
9. Булевы функции. Нормальные формы булевых функций. Двойственность функций. Полином Жегалкина. Классы замкнутости. Теорема Поста.
10. Логика высказываний. Логика предикатов. Метод резолюций.
11. Формальные языки и грамматики. Контекстно-свободные грамматики. Автоматные грамматики. Конечные автоматы. Детерминированность. Теорема Клини.
12. Машина Тьюринга. Алгоритмы Маркова. Частично рекурсивные функции.

Список рекомендованных источников

Тематический блок 1. Линейная алгебра

1. В.А. Ильин, Э.Г. Позняк. Линейная алгебра, любое издание, напр., М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
<https://obuchalka.org/2017092496602/lineinaya-algebra-ilin-v-a-poznyak-e-g-2005.html>
2. В.А. Ильин, Э.Г. Позняк. Аналитическая геометрия, любое издание, напр., М.: Физматлит, 2004.
<https://www.labirint.ru/books/585885/>
3. И.М. Гельфанд. Лекции по линейной алгебре, любое издание, напр., М.: Добросвет, МЦНМО, 1998.
https://www.phantastike.com/math/lek_po_lineynoy_algebre/pdf/
4. Э.Б. Винберг. Курс алгебры, любое издание, напр., М.: МЦНМО, 2011.
http://mathprofi.com/uploads/files/2581_f_41_e.b.vinberg-kurs-algebry-2-e-izd.pdf?key=d04a1718e76a1b8366c8fc0d4d87caf3
5. Д. В. Беклемишев. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры, любое издание, напр., М.: Физматлит, 2005.
<http://mathdep.ifmo.ru/wp-content/uploads/2020/09/%D0%9A%D1%83%D1%80%D1%81-%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9-%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B8-%D0%B8-%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D0%B9-%D0%B0%D0%BB%D0%B3%D0%B5%D0%B1%D1%80%D1%8B.-%D0%91%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2-%D0%94.%D0%92..pdf>
6. П.С. Александров. Лекции по аналитической геометрии, любое издание, напр., СПб.: Лань, 2016.
https://www.ozon.ru/product/lektcii-po-analiticheskoy-geometrii-popolnennye-neobhodimymi-svedeniyami-iz-algebry-aleksandrov-320039875/?sh=dK3WCN9s_g
7. И.И. Привалов. Аналитическая геометрия. СПб.: Лань, 2010.
<https://www.litres.ru/ivan-privalov/analiticheskaya-geometriya-40-e-izd-uchebnik-dlya-v-62697081/>
8. V. A. Ilyin, E. G. Poznyak . Linear Algebra. Collets, 1986.
<https://urss.ru/cgi-bin/db.pl>
<https://www.amazon.com/Linear-Algebra-V-Ilyin/dp/0828533407>
9. I. M. Gel'fand. Lectures on Linear Algebra. Dover Publications, 1989.

<https://www.amazon.com/Lectures-Linear-Algebra-Dover-Mathematics/dp/0486660826>

10. S. Axler. Linear Algebra Done Right. Springer, 2015.

<https://www.amazon.com/Linear-Algebra-Right-Undergraduate-Mathematics/dp/0387982582>

<http://alefenu.com/libri/LADR.pdf>

11. S. Andrilli, D. Hecker. Elementary Linear Algebra. Academic Press, 2016.

<https://www.amazon.com/Elementary-Linear-Algebra-Stephen-Andrilli/dp/0123747511>

12. R. Bronson, J.T. Saccoman, G. Costa. Linear Algebra: introduction. Academic Press, 2013.

<https://mathematicalolympiads.files.wordpress.com/2012/08/linear-algebra2.pdf>

13. B. Spain. Analytical Geometry. Pergamon, 1963.

https://download.tuxfamily.org/openmathdep/geometry_analytic/Analytical_Geometry-Spain.pdf

14. A. C. Burdette. Analytic Geometry. Academic Press, 1971.

<https://www.amazon.com/Analytic-Geometry-C-Burdette-ebook/dp/B01DUEBGW8>

<https://www.amazon.com/Introduction-Analytic-Geometry-Calculus/dp/B00201CRGW>

15. W.R. Gondin, B. Sohmer. Intermediate Algebra & Analytic Geometry. Made Simple, 1965.

<https://www.amazon.com/Intermediate-Algebra-Analytic-Geometry-William/dp/1483256707>

Тематический блок 2. Вещественный и комплексный анализ

1. С. М. Никольский. Курс математического анализа. В 2-х томах. М.: Физматлит, 2001.

http://www.physics.gov.az/book_K/NIKOLSKI2.PDF

2. С.А. Теляковский. Курс лекций по математическому анализу, семестры 1, 2, 3. М.: МИАН, 2009, 2011, 2013.

<http://www.mathnet.ru/links/c94dc3095bc0709f9821e3986416a9d8/lkn11.pdf> (сем. 1)

<http://www.mathnet.ru/links/b07162e094c98d486a21ca0069e0cf08/lkn17.pdf> (сем. 2)

<http://www.mathnet.ru/links/094a6c684e3207db229087e38dab9dbf/lkn20.pdf> (сем. 3)

3. А. И. Маркушевич. Краткий курс теории аналитических функций, любое издание, напр., М.: Мир, 2006.

<https://obuchalka.org/20200827124103/kratkii-kurs-teorii-analiticheskikh-funkcii-markushevich-a-i.html>

4. А.Г. Свешников, А. Н. Тихонов. Теория функции комплексного переменного, любое издание, напр., М. Физматлит, 2005.

<http://read.newlibrary.ru/read.php/pdf=15234>

5. Ю. В. Сидоров, М. В. Федорюк, М. И. Шабунин. Лекции по теории функций комплексного переменного, любое издание, напр., М.: Наука, 1982.

http://mph1.phys.spbu.ru/~badanin/3kurs/FilesAdd/Shabunin_TFKP.pdf (доступ свободный)

6. И. И. Привалов. Введение в теорию функции комплексного переменного, любое издание, напр., М.: Наука, 1984.

http://elibrary.sgu.ru/uch_lit/559.pdf

7. Фуks Б.А., Шабат Б.В. Функции комплексного переменного и некоторые их приложения. М: Наука, 1964.

<https://ikfia.ysn.ru/wp-content/uploads/2018/01/FuksShabat1964ru.pdf>

8. G. Strang. Calculus. 3rd edition. Wellesley-Cambridge Press, 2017.

<https://ocw.mit.edu/ans7870/resources/Strang/Edited/Calculus/Calculus.pdf>

<https://www.amazon.com/Calculus-3rd-Gilbert-Strang/dp/0980232759>

9. Ya. S. Bugrov, S. M. Nikolsky. Differential and Integral Calculus. Imported Pubn, 1983.

<https://www.amazon.com/Differential-Integral-Calculus-Ya-Bugrov/dp/0828523061>

10. T. Dence, J. Dence. Advanced Calculus. Academic Press, 2009.
<https://www.amazon.com/Advanced-Calculus-Transition-Thomas-Dence/dp/0123749557>
11. H. Flanders, R.R. Korfhage, J.J. Price. A Second Course in Calculus. Academic Press, 1974.
12. L. Loomis, S. Steinberg. Advanced Calculus. Revised edition, Lomdon-Boston, 1990
https://people.math.harvard.edu/~shlomo/docs/Advanced_Calculus.pdf
13. A.G. Sveshnikov, A.N. Tikhonov. The Theory of Functions of a Complex Variable. Mir, 1978.
https://download.tuxfamily.org/openmathdep/analysis_complex/Functions_Complex_Variable-Sveshnikov.pdf
14. M. I. Shabunin, Yu. V. Sidorov, M. V. Fedoryuk. Lectures on the Theory of Functions of a Complex Variable. Mir, 1985.
http://theory.fi.infn.it/colomo/metodi/testi/Sidorov_Fedoryuk_Shabunin.pdf
<https://archive.org/details/SidorovFedoryukShabuninLecturesOnTheTheoryOfFunctionsOfAComplexVariable/mode/2up> (доступ свободный)
15. D.E. Marshall. Complex Analysis. Cambridge University Press, 2019.
<https://www.amazon.com/Complex-Analysis-Cambridge-Mathematical-Textbooks/dp/110713482X>
16. Ahlfors, L. V., Complex analysis. McGraw-Hill, 1986.
[https://www.matem.unam.mx/~hector/\[Lars_Ahlfors\]_Complex_Analysis_\(Third_Edition\).pdf](https://www.matem.unam.mx/~hector/[Lars_Ahlfors]_Complex_Analysis_(Third_Edition).pdf)
<https://www.amazon.com/Complex-Analysis-Lars-Ahlfors/dp/0070006571>

Тематический блок 3. Дифференциальные уравнения

1. Л.Э. Эльсгольц. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1965.
http://www.phys.nsu.ru/balakina/EI%27sgol%27dz_Dif_ur_i_var_isch.pdf
2. А.П. Карташев, Б.Л. Рождественский. Обыкновенные дифференциальные уравнения и основы вариационного исчисления. М.: Наука, 1980.
<https://obuchalka.org/2013040270515/obiknovennie-differencialnie-uravneniya-i-osnovi-variacionnogo-ischisleniya-kartashev-a-p-rojdestvenskii-b-l-1980.html>
3. М.В. Федорюк. Обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: Наука, 1985.
<http://cmcstuff.esyr.org/vmkbotva-r15/2%20%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81/4%20%D0%A1%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D1%81%D1%82%D1%80/%D0%94%D0%B8%D1%84%D1%84%D1%83%D1%80%D1%8B/%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8/%D0%A4%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%BA%20%D0%9C.,%20%D0%9E%D0%B1%D1%8B%D0%BA%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%B4%D0%B8%D1%84%D1%84.%D1%83%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F,%201985.pdf>
4. А.Ф. Филиппов. Введение в теорию дифференциальных уравнений. М.: КомКнига, 2007.
<https://obuchalka.org/2014032376465/vvedenie-v-teoriyu-differencialnih-uravnenii-filippov-a-f-2007.html>
5. А.Ф. Филиппов. Сборник задач по дифференциальным уравнениям. Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2000.
<http://kvm.gubkin.ru/pub/uok/FilippovDU.pdf>
6. Н.М. Матвеев. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. Учебник. Минск: «Вышэйшая школа», 1974.

<https://obuchalka.org/2015033083660/metodi-integrirvaniya-obiknovennih-differencialnih-uravnenii-matveev-n-m-1967.html>

<https://cdnpdf.com/pdf-12290-metody-integrirvaniya-obyknovennyh-differencialnyh-uravnenij-matveev-nm>

7. А.Н. Тихонов, А.Б. Васильева, А.Г. Свешников. Дифференциальные уравнения: Учеб.: Для вузов. — 4-е изд. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.

<https://obuchalka.org/2015031483302/differencialnie-uravneniya-tihonov-a-n-vasileva-a-b-sveshnikov-a-g-2005.html>

https://vk.com/doc409016625_601016842?hash=tbYzqszejwezTgmyNzyEC9At2fdvwFmBiORxNbGZxRMO&dl=KPO5Udumkyy1NaN2qzuoNdcW1IROCOF1ZHKLWFNEnrT

8. L. Elsgolts. Differential Equations and the Calculus of Variations. University Press of the Pacific, 2003.

<https://ia800908.us.archive.org/2/items/ElsgoltsDifferentialEquationsAndTheCalculusOfVariations/Elsgolts-Differential-Equations-and-the-Calculus-of-Variations.pdf>

<https://www.amazon.com/Differential-Equations-Calculus-Variations-Elsgolts/dp/1410210677>

9. G. Strang. Differential equations and Linear algebra. Wellesley-Cambridge Press, 2014.

<https://www.amazon.com/Differential-Equations-Linear-Algebra-Gilbert/dp/0980232791#:~:text=Differential%20equations%20and%20linear%20algebra%20are%20two%20central%20topics%20in,giving%20increased%20flexibility%20to%20instructors.>

<https://math.mit.edu/~gs/dela/>

10. G. Simmons. Differential equations with applications and historical notes. McGraw-Hill, New York, 1991.

<https://caisatech.net/uploads/120220%20Differential%20equations.pdf>

11. M. Tenenbaum, H. Pollard. Ordinary Differential Equations. Dover Publications, 1985.

<https://netsanet4all.files.wordpress.com/2018/12/294222977-ordinary-differential-equations-tenenbaum-pollard-0486649407.pdf>

12. G.F. Carrier, C.E. Pearson. Partial Differential Equations. Academic Press, 1976.

https://www.amazon.com/Partial-Differential-Equations-Theory-Technique-dp-0121604500/dp/0121604500/ref=mt_other?encoding=UTF8&me=&qid=

Тематический блок 4. Теория вероятностей и математическая статистика

13. В. П. Чистяков. Курс теории вероятностей, любое издание

<https://obuchalka.org/20210219129486/kurs-teorii-veroyatnostei-chistyakov-v-p-2000.html>

https://vk.com/doc409016625_585522734?hash=shU94s8Mkzaz5HeKrlywztg9SrhIDNtiQACwqblc5zk&dl=56IpiYMTeuz3eGbp6mbOGSRlyNcyUBZ80zEA05ykrbL

14. Вентцель Е. С. Теория вероятностей, 2006

<https://obuchalka.org/20190227107251/teoriya-veroyatnostei-ventcel-e-s-2006.html>

15. Б.В. Гнеденко. Курс теории вероятностей. 8-е изд., испр. и доп.—М.: Едиториал УРСС, 2005.

<https://obuchalka.org/20190716111540/kurs-teorii-veroyatnostei-uchebnik-gnedenko-b-v-2011.html>

4. В. Феллер. Введение в теорию вероятностей и ее приложения, любое издание .
<https://www.labyrinth.ru/books/828835/>

https://vk.com/doc409016625_541696520?hash=WCRmDd8Eiwo6wglbHb3UEgzAKoxswEkGwwRizPtgqKc&dl=OWNlrVPbnWq1foZAAKUq944tkgs20FoTsDXkU9LETI4

https://vk.com/doc409016625_541697907?hash=09ukiWbbZdvhqbsNPXPFZHdAO0TUJSWF3qXvTMHJ5S4&dl=NwYIWvIFGAE8zJ7Qe9vTZ98gXzwDnaaWwtzh5ZdKAwX

6. Г.И. Ивченко, Ю.И. Медведев. Математическая статистика. М.: Высш. шк., 1984.
https://www.hse.ru/pubs/share/direct/content_document/103185710
7. B.V. Gnedenko. Theory of Probability. CRC Press, 1998.
<https://www.amazon.com/Theory-Probability-Boris-V-Gnedenko/dp/9056995855>
8. V.K. Zakharov, V. P. Chistyakov, B. A. Sevastyanov. Probability Theory for Engineers. Optimization Software. 1987.
https://www.alibris.com/booksearch.detail?invid=17109690527&isbn=9780911575132&utm_medium=affiliate&utm_source=GuWPtmTDDdQ&utm_campaign=2&siteID=GuWPtmTDDdQ-bX4XKw.oyIGLVgYhZ53VdQ
9. R.E. Walpol, R.H. Myers, S.L. Myers, K. Ye. Probability and Statistics. Prentice Hall, 2011.
https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/221008/mod_resource/content/1/ProbabilityStatistics_for_EngineersScientists%289th_Edition%29_Walpole.pdf
10. G.R. Grimmett, D.R. Stirzaker. Probability and Random Processes. Oxford University Press, 2001.
http://old-eclass.uop.gr/modules/document/file.php/TST244/%5BGeoffrey_R._Grimmett%2C_David_R._Stirzaker%5D_Probabi%28BookZZ.org%29.pdf
11. W. Feller. An Introduction to Probability Theory and its Applications. John Wiley & Sons, 1967.
<https://www.amazon.com/Introduction-Probability-Theory-Applications-Vol/dp/0471257087>
<https://bitcoinwords.github.io/assets/papers/an-introduction-to-probability-theory-and-its-applications.pdf>
12. E.L. Lehmann, G. Casella. Theory of Point Estimation (2nd ed.). New York: Springer, 1998.
<https://www.dcehvpvm.org/E-Content/Stat/E%20L%20Lehaman.pdf>
13. E.L. Lehmann, Joseph P. Romano. Testing Statistical Hypotheses (3rd ed.). New York: Springer, 2005.
https://sites.stat.washington.edu/jaw/COURSES/580s/582/HO/Lehmann_and_Romano-TestingStatisticalHypotheses.pdf

Тематический блок 5. Машинное обучение

1. Friedman J. et al. The elements of statistical learning. – New York: Springer series in statistics, 2001. – Т. 1. – №. 10.
<https://hastie.su.domains/Papers/ESLII.pdf>
2. Воронцов К. В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин) // Москва. – 2011. – С. 141.
<http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/voron-ml-1.pdf>
3. Goodfellow I. et al. Deep learning. – Cambridge: MIT press, 2016.
http://imlab.postech.ac.kr/dkim/class/cs514_2019s/DeepLearningBook.pdf
4. Brownlee J. Statistical methods for machine learning. Discover how to transform data into knowledge with Python. Machine Learning Mastery. – 2020.
https://machinelearningmastery.com/statistics_for_machine_learning/
https://vk.com/doc270219984_558991959?hash=RIVSLsu6DP8ee45SNvzXh7azCp61PJcCe7VaQOEuzTk&dl=BGqIqfLcSRB4LG7wrZalbe2ICu2s3xTaEWAR3fg0zKL
5. Замятин А.В. Интеллектуальный анализ данных: учеб. пособие. – Томск: Издательский Дом государственного университета, 2020. – 196 с.
<https://www.litres.ru/a-v-zamyatin/intellektualnyy-analiz-dannyh-67267130/>
6. Гудфеллоу Я., Иошуа Б., Курвилль А. Глубокое обучение. – Litres, 2018.
<https://www.ozon.ru/product/glubokoe-obuchenie-tsvetnye-illyustratsii-bendzhio-ioshua-gudfellou-yan-217046706/?sh=dK3WCMY0oA>

7. Архангельская Е. Глубокое обучение / С. Николенко, А. Кадурич. –СПБ: Издательский дом "Питер", 2017.
<https://www.ozon.ru/product/glubokoe-obuchenie-arhangelskaya-e-o-kadurin-a-a-211432536/?sh=dK3WCCOfsA>
8. Хайкин С. Нейронные сети: Полный курс. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.
<https://www.labirint.ru/books/529153/>
9. Murphy К. Р. Machine learning: a probabilistic perspective. – MIT press, 2012.
http://noiselab.ucsd.edu/ECE228/Murphy_Machine_Learning.pdf
10. Bishop С. М. Pattern recognition and machine learning. – springer, 2006.
<http://users.isr.ist.utl.pt/~wurmd/Livros/school/Bishop%20-%20Pattern%20Recognition%20And%20Machine%20Learning%20-%20Springer%20%202006.pdf>

Тематический блок 6. Дискретная математика

1. Н. Кристофидес Теория графов: алгоритмический подход, М.: Мир, 1997
<https://studizba.com/files/show/pdf/53991-1-n-kristofides--teoriya-grafov.html>
(рус, free)
<https://www.amazon.com/Graph-Theory-Algorithmic-Approach-Christofides/dp/0121743500> (eng)
2. Харари Теория графов, urss 2018, изд.5, дополненное
<https://stugum.files.wordpress.com/2014/03/harary-graph-theory.pdf> (рус, free)
<https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9780429493768/graph-theory-frank-harary> (eng)
3. Дж. Андерсон Дискретная математика и комбинаторика Москва-Санкт-Петербург, 2017
<https://studizba.com/files/show/djvu/2898-1-dzh-anderson--diskretnaya-matematika-i.html> (рус, free)
<https://www.amazon.com/Discrete-Mathematics-Combinatorics-James-Anderson/dp/0130457914> (eng)
4. Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн Алгоритмы: построение и анализ, любое издание
[https://sd.blackball.lv/library/Introduction_to_Algorithms_Third_Edition_\(2009\).pdf](https://sd.blackball.lv/library/Introduction_to_Algorithms_Third_Edition_(2009).pdf) (eng, free)
5. <http://www.its.caltech.edu/~matilde/FormalLanguageTheory.pdf> (eng, free)
6. Hopcroft, Motvani, Ullman Introduction to autkmata theory, languages and computations
https://e.famnit.upr.si/pluginfile.php/636821/mod_page/content/8/Automata.pdf
(eng, free)

Список рекомендованных онлайн-курсов

Тематический блок 1. Линейная алгебра и аналитическая геометрия

1. Matrix Algebra for Engineers.
URL: <https://www.coursera.org/learn/matrix-algebra-engineers>
2. Linear Algebra - Foundations to Frontiers.
URL: <https://www.edx.org/course/linear-algebra-foundations-to-frontiers>
3. Precalculus. Unit: Matrices.
URL: <https://www.khanacademy.org/math/prec calculus/x9e81a4f98389efdf:matrices>

4. Linear Algebra for Machine Learning and Data Science (Coursera)
<https://www.coursera.org/learn/machine-learning-linear-algebra>
5. Matrix Methods.
URL: <https://www.coursera.org/learn/matrix-methods>
6. GTx's Introductory Linear Algebra.
URL: <https://www.edx.org/professional-certificate/gtx-introductory-linear-algebra>
7. Precalculus. Unit: Vectors.
URL: <https://www.khanacademy.org/math/prec calculus/x9e81a4f98389efdf:vectors>
8. Precalculus. Unit: Conic sections.
URL: <https://www.khanacademy.org/math/prec calculus/x9e81a4f98389efdf:conics>
9. Mathematics 1. Unit: Analytic geometry.
URL: <https://www.khanacademy.org/math/math1/x89d82521517266d4:analytic-geo>
10. Three Dimensional Geometry.
URL: <https://www.toppr.com/guides/maths/three-dimensional-geometry/>
11. Pre-University Calculus.
[URL: https://www.edx.org/course/pre-university-calculus-2](https://www.edx.org/course/pre-university-calculus-2)

Тематический блок 2. Вещественный и комплексный анализ

1. Differential Calculus through Data and Modeling.
URL: <https://www.coursera.org/specializations/differential-calculus-data-modeling#courses>
2. Introduction to Calculus.
URL: <https://www.coursera.org/learn/introduction-to-calculus>
3. Calculus: Single Variable Part 1 – Functions.
URL: <https://www.coursera.org/learn/single-variable-calculus>
4. Calculus: Single Variable Part 2 – Differentiation.
URL: <https://www.coursera.org/learn/differentiation-calculus>
5. Calculus: Single Variable Part 3 – Integration.
URL: <https://www.coursera.org/learn/integration-calculus>
6. Calculus: Single Variable Part 4 – Applications.
URL: <https://www.coursera.org/learn/applications-calculus>
7. Introduction to Complex Analysis (Coursera)
<https://www.coursera.org/learn/complex-analysis>
8. Introduction to Complex Analysis
URL: <https://www.coursera.org/learn/complex-analysis>
9. Fundamentals of Complex Variables Analysis.
URL: <https://www.udemy.com/course/fundamentals-of-complex-variables-analysis/>
10. Complex Variables and Transforms.
URL: <https://www.udemy.com/course/complex-variables-and-transforms/>
11. Complex Analysis.
URL: <https://nptel.ac.in/courses/111/103/111103070/#>

Тематический блок 3. Дифференциальные уравнения

1. Integral Calculus. Unit: Differential equations.
URL: <https://www.khanacademy.org/math/integral-calculus/ic-diff-eq>
2. Math. Unit: Differential equations.
URL: <https://www.khanacademy.org/math/differential-equations>
3. Ordinary Differential Equations and Linear Algebra - Part 1.
URL: <https://www.edx.org/course/ordinary-differential-equations-and-linear-algebra>
4. Ordinary Differential Equations.
URL: <https://www.udemy.com/course/ordinary-differential-equations/>
5. Differential Equations for Engineers

URL: <https://www.coursera.org/learn/differential-equations-engineers>

6. Introduction to Ordinary Differential Equations

URL: <https://www.coursera.org/learn/ordinary-differential-equations>

Тематический блок 4. Теория вероятностей и математическая статистика

1. 1. Probability Theory, Statistics and Exploratory Data Analysis.

URL: <https://www.coursera.org/learn/probability-theory-statistics>

2. 2. Probability Theory: Foundation for Data Science.

URL: <https://www.coursera.org/learn/probability-theory-foundation-for-data-science>

3. 3. Introduction to Statistics.

URL: <https://www.coursera.org/learn/stanford-statistics>

4. 4. Combinatorics and Probability.

URL: <https://www.coursera.org/learn/combinatorics>

5. 5. Introduction to Statistics (Coursera)

URL: <https://www.coursera.org/learn/stanford-statistics>

6. Probability and Statistics: To p or not to p? (Coursera)

<https://www.coursera.org/learn/probability-statistics>

7. 7. Probability Theory

URL: <https://stepik.org/52134>

Тематический блок 5. Машинное обучение

1. Введение в машинное обучение

URL: <https://ru.coursera.org/learn/vvedenie-mashinnoe-obuchenie>

2. Машинное обучение

URL: <https://stepik.org/course/8057/info>

3. Machine Learning

URL: <https://www.coursera.org/learn/machine-learning>

4. Deep Learning

URL: <https://www.coursera.org/specializations/deep-learning>

5. Advanced Machine Learning

URL: <https://www.coursera.org/specializations/aml>

6. IBM Machine Learning

URL: <https://www.coursera.org/professional-certificates/ibm-machine-learning>

7. Machine Learning

URL: <https://www.coursera.org/specializations/machine-learning>

8. Mathematics for Machine Learning

URL: <https://www.coursera.org/specializations/mathematics-machine-learning>

9. Machine Learning for All

URL: <https://www.coursera.org/learn/uol-machine-learning-for-all>

Тематический блок 6. Дискретная математика

1. Дискретная математика и теоретическая информатика

<https://stepik.org/course/95220>

2. Основы теории графов <https://stepik.org/course/74545>

3. Математическая логика и теория алгоритмов <https://stepik.org/course/114319>

4. Introduction to graph theory <https://www.classcentral.com/course/graphs-9213>

5. Discrete mathematics <https://www.classcentral.com/course/discrete-mathematics-8133>