

ЮНЫЙ УЧЁНЫЙ

ISSN 2409-546X

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



6+

8

Часть II
2026

Юный учёный

Международный научный журнал

№ 8 (104) / 2026

Издается с февраля 2015 г.

Главный редактор: Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

Редакционная коллегия:

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, доктор педагогических наук (Узбекистан)

Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук

Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)

Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук

Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук

Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук

Абдрасилов Турганбай Курманбаевич, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)

Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук

Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук (Казахстан)

Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук (Азербайджан)

Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук

Бердиев Эргаш Абдуллаевич, кандидат медицинских наук (Узбекистан)

Брезгин Вячеслав Сергеевич, кандидат экономических наук

Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук

Дёмин Александр Викторович, кандидат биологических наук

Дядюн Кристина Владимировна, кандидат юридических наук

Желнова Кристина Владимировна, кандидат экономических наук

Жуйкова Тамара Павловна, кандидат педагогических наук

Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения

Искаков Руслан Маратбекович, кандидат технических наук (Казахстан)

Калдыбай Кайнар Калдыбайулы, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)

Кенесов Асхат Алмасович, кандидат политических наук

Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук

Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук

Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук

Кузьмина Виолетта Михайловна, кандидат исторических наук, кандидат психологических наук

Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)

Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук

Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук

Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук

Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук

Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук

Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук

Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук

Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук (Казахстан)

Паридинова Ботагоз Жаппаровна, магистр философии (Казахстан)

Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук

Рахмонов Азизхон Боситхонович, доктор педагогических наук (Узбекистан)

Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук

Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук

Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук

Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектуры (Узбекистан)

Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук

Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук

Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры

Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук (Узбекистан)

Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук

Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

Международный редакционный совет:

Айрян Заруи Геворковна, кандидат филологических наук, доцент (Армения)
Арошидзе Паата Леонидович, доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)
Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор (Россия)
Ахмеденов Кажмурат Максutowич, кандидат географических наук, ассоциированный профессор (Казахстан)
Бидова Бэла Бертовна, доктор юридических наук, доцент (Россия)
Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)
Буриев Хасан Чутбаевич, доктор биологических наук, профессор (Узбекистан)
Велковска Гена Цветкова, доктор экономических наук, доцент (Болгария)
Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)
Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)
Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)
Демидов Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Досманбетов Динар Бакбергенович, доктор философии (PhD), проректор по развитию и экономическим вопросам (Казахстан)
Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)
Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)
Игисинов Нурбек Сагинбекович, доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)
Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, доктор педагогических наук, и. о. профессора, декан (Узбекистан)
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)
Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)
Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Кыят Эмине Лейла, доктор экономических наук (Турция)
Лю Цзюань, доктор филологических наук, профессор (Китай)
Малес Людмила Владимировна, доктор социологических наук, доцент (Украина)
Нагервадзе Марина Алиевна, доктор биологических наук, профессор (Грузия)
Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)
Прокопьев Николай Яковлевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Прокофьева Марина Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)
Рахматуллин Рафаэль Юсупович, доктор философских наук, профессор (Россия)
Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)
Сорока Юлия Георгиевна, доктор социологических наук, доцент (Украина)
Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)
Узаков Гулом Норбоевич, доктор технических наук, доцент (Узбекистан)
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры (Россия)
Хоналиев Назарали Хоналиевич, доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)
Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)
Шарипов Аскар Калиевич, доктор экономических наук, доцент (Казахстан)
Шуклина Зинаида Николаевна, доктор экономических наук (Россия)

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА: АЛГЕБРА И НАЧАЛА АНАЛИЗА, ГЕОМЕТРИЯ

Волкова Е. В.

Вычисление числа π 59

Дятлов М. С.

Как я подружился с графами Эйлера 68

Филимонова А. М.

Оператор «атикс»: формализация инструмента для извлечения кубического корня 70

Чижанькова А. А.

Симметрия в математике и практической деятельности людей 71

ИНФОРМАТИКА

Гаврилов А. А.

Доверие к алгоритму: эмпирическое исследование взаимодействия человека и искусственного интеллекта при решении вероятностных задач с N исходами 75

Марков Я. А.

Киберпанки как способ рассказать о кибербезопасности 81

ФИЗИКА

Завгородняя А. Е.

Создание тетради-практикума по физике «Электрические цепи» 85

Козинкина Н. П.

BLDC-двигатель и способы его применения 87

Логинова Д. Д.

Исследование аэродинамики гоночного автомобиля 89

Loginova D. D.

Hypersonic re-entry. Radio blackout phenomena 91

ХИМИЯ

Коробович И. Г.

Синтез и стабилизация метастабильного оксида висмута как перспективного фотокатализатора в условиях учебных лабораторий 94

Лукьяненко Е. Н.

Возможности цифровых технологий в школьном химическом эксперименте во время работы над проектом «Сравнительный анализ адсорбционной активности медицинских препаратов с использованием цифровой лаборатории Releon» 97

Филимонова А. М.

Синтез и перспективы применения продукта реакции нитрата серебра с сульфатом железа (II) в промышленных целях 99

БИОЛОГИЯ

Милюкова Д. В.

Феномен повторного (позднего) гнездования серой вороны (*Corvus cornix*) в городской среде: экологические и поведенческие аспекты 101

Пальмина Д. В.

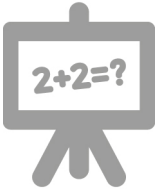
Танец и нейробиология: как движения влияют на работу мозга 103

Сивоброва Т. В.

Влияние продолжительности сна на умственную активность учащихся 104

Чижанькова А. А.

Развитие ботаники как науки 109



МАТЕМАТИКА: АЛГЕБРА И НАЧАЛА АНАЛИЗА, ГЕОМЕТРИЯ

Вычисление числа π

Волкова Евгения Вячеславовна, учащаяся 11-го класса

Научный руководитель: Бумаженко Анна Александровна, учитель математики

МБОУ г. Абакана «Средняя общеобразовательная школа № 31» (Республика Хакасия)

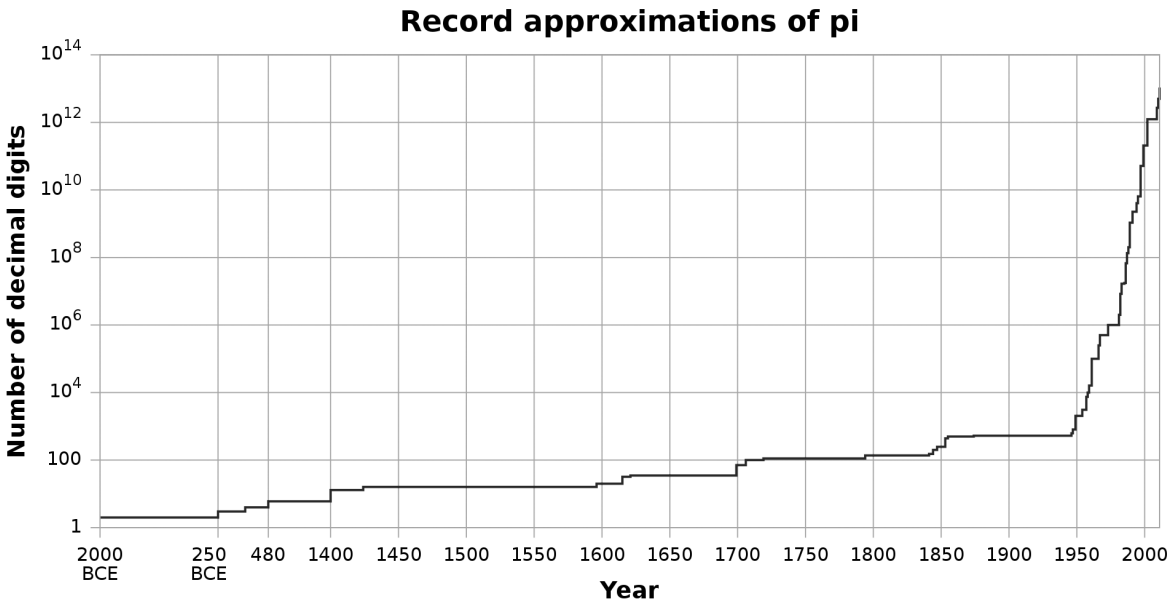
Введение
Если взять окружность любого радиуса и посчитать отношение длины этой окружности к её диаметру, мы получим знаменитую математическую постоянную $\pi = 3,1415926535897932384626433832795...$

Нужно заметить, что данное определение действительно только для евклидовой геометрии. В других геометриях отношение длины окружности к её диаметру может быть иным. Например, в геометрии Минковского — Ба-

наха $3 \leq \pi \leq 4$, причём число π может принимать любые значения в указанном промежутке [1].

Текущий мировой рекорд точности вычисления числа π был установлен 11 декабря 2025 г. инженерами лаборатории StorageReview и составляет 314 триллионов знаков после запятой. Данный расчёт был выполнен с помощью формулы братьев Чудновских.

На приведённом ниже рисунке показано, как изменялась точность вычисления числа π , измеренная в десятичных знаках [2].



Существует множество методов, алгоритмов и формул для вычисления численного значения числа π . Я попробую показать некоторые из них.

II. Геометрический метод

То, что отношение длины окружности к её диаметру одинаково для любой окружности, и то, что это отношение немногим более 3, было известно ещё древнеегипетским, вавилонским, древнеиндийским и древнегреческим геометрам; древнейшие приближения относятся к третьему тысячелетию до н. э.

Впервые «научный» подход к вычислению значения π в V–IV вв. до н. э. применили древнегреческие учёные Антифон и Бризон. Они предложили для нахождения приближённого значения числа π использовать как вписанные в окружность, так и описанные вокруг неё многоугольники. Учёные отметили, что периметр многоугольника, описанного вокруг окружности, больше её длины, а периметр вписанного — меньше.

Эту идею претворил в жизнь знаменитый учёный Архимед. Он последовательно определил периметры вписан-

Приведем левую часть равенства к общему знаменателю, находим значения коэффициентов:

$$A=0; B=\frac{1}{3}; C=0; D=\frac{2}{3}; E=0; F=\frac{2}{3}.$$

$$R(1)=\frac{1}{3}\int_0^1\left(\frac{1}{t^2+1}+\frac{2\cdot(t^2+1)}{(t^4-t^2+1)}\right)dt=R_1(1)+R_2(1),$$

$$R_1(1)=\frac{1}{3}\int_0^1\left(\frac{dt}{t^2+1}\right)=\frac{1}{3}\cdot\arctg(t)\Big|_0^1=\frac{\pi}{12},$$

$$\begin{aligned} R_2(1) &= \frac{2}{3}\int_0^1\left(\frac{1+t^2}{1-t^2+t^4}\right)dt = \\ &= \frac{2}{3}\int_0^1\left(\frac{1+\frac{1}{t^2}}{\left(t-\frac{1}{t}\right)^2+1}\right)dt = \\ &= \frac{2}{3}\int_{-\infty}^0\left(\frac{dz}{1+z^2}\right)=\frac{2}{3}\arctg(z)\Big|_{-\infty}^0=\frac{\pi}{3} \end{aligned}$$

Замена $z=t-\frac{1}{t}$, $dz=\left(1+\frac{1}{t^2}\right)dt$.

Пределы интегрирования: если $t \rightarrow +0$, то $z \rightarrow -\infty$; если $t=1$, то $z=0$.

Окончательно:

$$\pi = \frac{12}{5} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \cdot \left(\frac{1}{6n+1} + \frac{1}{6n+3} + \frac{1}{6n+5} \right). \quad (1)$$

Поступим как Мадхава, положив $x = \frac{\sqrt{3}}{3}$. Тогда:

$$\begin{aligned} R\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right) &= \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{3}} \left(\frac{1+t^2+t^4}{1+t^6} \right) dt = \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \cdot \left(\frac{\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right)^{(6n+1)}}{6n+1} + \frac{\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right)^{(6n+3)}}{6n+3} + \frac{\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right)^{(6n+5)}}{6n+5} \right) = \\ &= \sqrt{3} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{(-1)^n}{27^{n+1}} \right) \cdot \left(\frac{9}{6n+1} + \frac{3}{6n+3} + \frac{1}{6n+5} \right). \end{aligned}$$

Аналогично вышенаписанному:

$$\begin{aligned} R\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right) &= \frac{1}{3}\int_0^{\frac{\sqrt{3}}{3}}\left(\frac{1}{t^2+1}+\frac{2\cdot(t^2+1)}{(t^4-t^2+1)}\right)dt=R_1\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right)+R_2\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right), \\ R_1\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right) &= \frac{1}{3}\int_0^{\frac{\sqrt{3}}{3}}\left(\frac{dt}{t^2+1}\right)=\frac{1}{3}\cdot\arctg(t)\Big|_0^{\frac{\sqrt{3}}{3}}=\frac{\pi}{18}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_2\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right) &= \frac{2}{3}\int_0^{\frac{\sqrt{3}}{3}}\left(\frac{1+t^2}{1-t^2+t^4}\right)dt = \\ &= \frac{2}{3}\int_0^{\frac{\sqrt{3}}{3}}\left(\frac{1+\frac{1}{t^2}}{\left(t-\frac{1}{t}\right)^2+1}\right)dt = \\ &= \frac{2}{3}\int_{-\infty}^{\frac{-2}{\sqrt{3}}}\left(\frac{dz}{1+z^2}\right)=\frac{2}{3}\arctg(z)\Big|_{-\infty}^{\frac{-2}{\sqrt{3}}} = \\ &= \frac{2}{3}\cdot\left(\arctg\left(\frac{-2}{\sqrt{3}}\right)-\frac{\pi}{2}\right). \end{aligned}$$

Воспользуемся тем, что $\arctg(x) + \arctg\left(\frac{1}{x}\right) = \frac{\pi}{2}$ при

$x > 0$ и тем, что функция $\arctg(x)$ — нечётная.

Тогда:

$$R_2\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right) = \frac{2}{3} \cdot \arctg\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right),$$

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{18} + \frac{2}{3} \cdot \arctg\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) &= \\ -\sqrt{3} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{(-1)^n}{27^{n+1}} \right) \cdot \left(\frac{9}{6n+1} + \frac{3}{6n+3} + \frac{1}{6n+5} \right). \end{aligned}$$

Окончательно:

$$\begin{aligned} \pi &= 18 \cdot \sqrt{3} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{(-1)^n}{27^{n+1}} \right) \cdot \left(\frac{9}{6n+1} + \frac{3}{6n+3} + \frac{1}{6n+5} \right) - \\ &- 12 \cdot \arctg\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right). \end{aligned} \quad (2)$$

При $n=5$ значение $\pi \approx 3,14159265259426$, где верными являются 9 знаков.

Можно построить ряд

$$T(x) = x + \frac{x^3}{3} - \frac{x^5}{5} - \frac{x^7}{7} + \frac{x^9}{9} + \dots$$

путём изменения знаков некоторых членов ряда $S(x)$ так, чтобы после двух положительных членов ряда следовали два отрицательных. В этом случае для вычисления числа π получим следующий ряд:

$$\pi = 2\sqrt{2} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \cdot \left(\frac{1}{4n+1} + \frac{1}{4n+3} \right). \quad (3)$$

(Для вычисления значений интегралов данного раздела использовался ИИ.)

2. Формулы типа Мэчина

Формулы вида

$$\frac{\pi}{4} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \arctg\left(\frac{1}{b_i}\right)$$

названы в честь Джона Мэчина, который в 1706 г. нашёл эффективную формулу для вычисления числа π [4]:

$$\frac{\pi}{4} = 4 \cdot \arctg\left(\frac{1}{5}\right) - \arctg\left(\frac{1}{239}\right).$$

Для оценивания эффективности формул типа Мэчина в 1938 г. Деррик Леммер предложил меру μ , определяемую по формуле [5]

$$\mu = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\lg(b_i)} \right).$$

Чем меньше мера, тем эффективнее формула для вычисления.

Однако при вычислении числа π с помощью компьютеров возникает проблема хранения данных вычислений и значение величины μ уже не является критерием эффективности. Например, в 2002 г. Ясумаса Канада и его команда, используя определённый прием для оптимизации компьютерных вычислений, установили рекорд, вычислив 1,2411 триллиона знаков числа π с помощью ряда, открытого школьным учителем Кикую Такано в 1982 г.:

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{4} = & 12 \cdot \arctg\left(\frac{1}{49}\right) + 32 \cdot \arctg\left(\frac{1}{57}\right) - \\ & - 5 \cdot \arctg\left(\frac{1}{239}\right) + 12 \cdot \arctg\left(\frac{1}{110443}\right), \end{aligned}$$

который обладает мерой . В дальнейшем мы уменьшим меру данного ряда.

Любой из читателей может с легкостью вывести свою «личную» формулу типа Мэчина. Для этого необходимо использовать несколько простых формул. Укажем некоторые из них.

Из равенства

$$\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tg}(\alpha) \pm \operatorname{tg}(\beta)}{1 \mp \operatorname{tg}(\alpha) \cdot \operatorname{tg}(\beta)}$$

имеем:

$$\alpha \pm \beta = \arctg \left(\frac{\operatorname{tg}(\alpha) \pm \operatorname{tg}(\beta)}{1 \mp \operatorname{tg}(\alpha) \cdot \operatorname{tg}(\beta)} \right).$$

Замены:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(\alpha) = x & \Rightarrow \alpha = \arctg(x), \\ \operatorname{tg}(\beta) = y & \Rightarrow \beta = \arctg(y). \end{aligned}$$

Окончательно получаем:

$$\arctg(x) \pm \arctg(y) = \arctg \left(\frac{x \pm y}{1 \mp x \cdot y} \right). \quad (4)$$

Также:

$$\arctg\left(\frac{1}{x}\right) \pm \arctg\left(\frac{1}{y}\right) = \arctg\left(\frac{y \pm x}{x \cdot y \mp 1}\right), \quad (5)$$

$$\arctg\left(\frac{a_1}{b_1}\right) \pm \arctg\left(\frac{a_2}{b_2}\right) = \arctg\left(\frac{a_1 \cdot b_2 \pm a_2 \cdot b_1}{b_1 \cdot b_2 \mp a_1 \cdot a_2}\right). \quad (6)$$

К примеру, на основании вышеприведённых соотношений выведем формулу Мэчина:

$$\frac{\pi}{4} = 4 \cdot \arctg\left(\frac{1}{5}\right) - \arctg\left(\frac{1}{239}\right).$$

Имеем:

$$2 \cdot \arctg\left(\frac{1}{5}\right) = \arctg\left(\frac{5}{12}\right),$$

$$4 \cdot \arctg\left(\frac{1}{5}\right) = 2 \cdot \arctg\left(\frac{5}{12}\right) = \arctg\left(\frac{120}{119}\right).$$

Тогда:

$$\arctg\left(\frac{120}{119}\right) - \arctg\left(\frac{1}{239}\right) = \arctg\left(\frac{1}{239}\right),$$

$$\frac{\pi}{4} = 4 \cdot \arctg\left(\frac{1}{5}\right) - \arctg\left(\frac{1}{239}\right).$$

Мера формулы Мэчина $\mu \approx 1,8511$.

Укажем ещё несколько вспомогательных формул:

$$\arctg\left(\frac{1}{p}\right) = \arctg\left(\frac{1}{p \pm q}\right) \pm \arctg\left(\frac{q}{p^2 \pm p \cdot q + q}\right), \quad (7)$$

$$\arctg\left(\frac{1}{p}\right) = 2 \cdot \arctg\left(\frac{1}{2 \cdot p}\right) - \arctg\left(\frac{1}{4 \cdot p^3 + 3 \cdot p}\right), \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \arctg\left(\frac{1}{p}\right) &= 3 \cdot \arctg\left(\frac{1}{3 \cdot p}\right) - \arctg\left(\frac{8 \cdot p}{27 \cdot p^2 + 18 \cdot p - 1}\right) = \\ &= 3 \cdot \arctg\left(\frac{1}{3 \cdot p}\right) - \arctg\left(\frac{2}{9 \cdot p^3 + 7 \cdot p}\right) - \arctg\left(\frac{2}{27 \cdot p^3 + 9 \cdot p}\right), \end{aligned} \quad (9)$$

где значения выражений $\frac{9 \cdot p^3 + 7 \cdot p}{2}$ и $\frac{27 \cdot p^3 + 9 \cdot p}{2}$ являются натуральными числами.

$$\begin{aligned} \arctg\left(\frac{1}{p}\right) &= 4 \cdot \arctg\left(\frac{1}{4 \cdot p}\right) - \arctg\left(\frac{80 \cdot p^2 - 1}{256 \cdot p^5 + 160 \cdot p^3 - 15 \cdot p}\right) = \\ &= 4 \cdot \arctg\left(\frac{1}{4 \cdot p}\right) - \arctg\left(\frac{1}{4 \cdot p^3 + 3 \cdot p}\right) - 2 \cdot \arctg\left(\frac{1}{32 \cdot p^3 + 6 \cdot p}\right). \end{aligned} \quad (10)$$

Данные формулы выводятся из формул (4) — (6).

Также оказывается очень полезной формула, доказанная Карлом Гауссом:

$$n \cdot \arctg\left(\frac{1}{m}\right) = \arctg\left(\frac{\Im((m+i)^n)}{\Re((m+i)^n)}\right). \quad (11)$$

Пример 1. Доказать формулу (9).

Доказательство. Пусть

$$\arctg\left(\frac{1}{p}\right) = 3 \cdot \arctg\left(\frac{1}{3 \cdot p}\right) + \arctg\left(\frac{a}{b}\right).$$

Последовательно имеем:

$$\arctg\left(\frac{1}{3 \cdot p}\right) + \arctg\left(\frac{1}{3 \cdot p}\right) = \arctg\left(\frac{6 \cdot p}{9 \cdot p^2 - 1}\right),$$

$$\arctg\left(\frac{1}{3 \cdot p}\right) + \arctg\left(\frac{6 \cdot p}{9 \cdot p^2 - 1}\right) = \arctg\left(\frac{27 \cdot p^2 - 1}{27 \cdot p^3 - 9 \cdot p}\right),$$

$$\arctg\left(\frac{27 \cdot p^2 - 1}{27 \cdot p^3 - 9 \cdot p}\right) + \arctg\left(\frac{a}{b}\right) =$$

$$= \arctg\left(\frac{27 \cdot p^2 \cdot b - b + 27 \cdot p^3 \cdot a - 9 \cdot p \cdot a}{27 \cdot p^3 \cdot b - 9 \cdot p \cdot b - 27 \cdot p^2 \cdot a + a}\right) = \arctg\left(\frac{1}{p}\right).$$

Тогда:

$$\begin{aligned} 27 \cdot p^3 \cdot b - p \cdot b + 27 \cdot p^4 \cdot a - 9 \cdot p^2 \cdot a &= \\ = 27 \cdot p^3 \cdot b - 9 \cdot p \cdot b - 27 \cdot p^4 \cdot a + a, \end{aligned}$$

$$\frac{a}{b} = -\left(\frac{8 \cdot p}{27 \cdot p^4 + 18 \cdot p^2 - 1}\right).$$

Следовательно,

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{p}\right) = 3 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{3 \cdot p}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{8 \cdot p}{27 \cdot p^4 + 18 \cdot p^2 - 1}\right).$$

Докажем, что

$$\begin{aligned} \operatorname{arctg}\left(\frac{8 \cdot p}{27 \cdot p^4 + 18 \cdot p^2 - 1}\right) &= \\ &= \operatorname{arctg}\left(\frac{2}{9 \cdot p^3 + 7 \cdot p}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{2}{27 \cdot p^3 + 9 \cdot p}\right). \end{aligned}$$

Пусть

$$\begin{aligned} \operatorname{arctg}\left(\frac{8 \cdot p}{27 \cdot p^4 + 18 \cdot p^2 - 1}\right) &= \\ &= \operatorname{arctg}\left(\frac{2}{a \cdot p^3 + b \cdot p}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{2}{c \cdot p^3 + d \cdot p}\right) = \\ &= \operatorname{arctg}\left(\frac{2 \cdot (c \cdot p^3 + d \cdot p) + 2 \cdot (a \cdot p^3 + b \cdot p)}{(a \cdot p^3 + b \cdot p) \cdot (c \cdot p^3 + d \cdot p) - 4}\right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4 \cdot a \cdot c \cdot p^7 + 4 \cdot (a \cdot d + b \cdot c) \cdot p^5 + 4 \cdot b \cdot d \cdot p^3 - 16 \cdot p &= I, \\ 27 \cdot (a + c) \cdot p^7 + (27 \cdot (b + d) + 18 \cdot (a + c)) \cdot p^5 + \\ + (18 \cdot (b + d) - (a + c)) \cdot p^3 - (b + d) \cdot p &= I. \end{aligned}$$

Приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях p , получим систему уравнений:

$$\begin{aligned} 4 \cdot a \cdot c &= 27 \cdot (a + c), \\ 27 \cdot (b + d) + 18 \cdot (a + c) &= 4 \cdot (a \cdot d + b \cdot c), \\ 18 \cdot (b + d) - (a + c) &= 4 \cdot b \cdot d, \\ b + d &= 16. \end{aligned}$$

Решение системы: $a = 9; b = 7; c = 27; d = 9$.

Окончательно:

$$\begin{aligned} \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{p}\right) &= 3 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{3 \cdot p}\right) - \\ &- \operatorname{arctg}\left(\frac{2}{9 \cdot p^3 + 7 \cdot p}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{2}{27 \cdot p^3 + 9 \cdot p}\right). \end{aligned}$$

Можно заметить, что значения выражений $9 \cdot p^3 + 7 \cdot p$ и $27 \cdot p^3 + 9 \cdot p$ — чётные числа независимо от того, является ли натуральное число p чётным ($p = 2 \cdot m$) или нечётным ($p = 2 \cdot m + 1$):

$$\begin{aligned} 9 \cdot p^3 + 7 \cdot p &= \begin{cases} 72 \cdot m^3 + 14 \cdot m, & \text{если } p - \text{чётное} \\ 72 \cdot m^3 + 108 \cdot m^2 + 68 \cdot m + 16, & \\ \text{если } p - \text{нечётное} \end{cases} \\ 27 \cdot p^3 + 9 \cdot p &= \begin{cases} 216 \cdot m^3 + 28 \cdot m, & \text{если } p - \text{чётное} \\ 216 \cdot m^3 + 324 \cdot m^2 + 180 \cdot m + 36, & \\ \text{если } p - \text{нечётное} \end{cases} \end{aligned}$$

Пример 2. Доказать формулу

$$\begin{aligned} 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{2 \cdot p}\right) - 3 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{3 \cdot p}\right) &= \\ &= -2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{36 \cdot p^3 + 7 \cdot p}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{108 \cdot p^3 + 9 \cdot p}\right). \end{aligned} \quad (12)$$

Доказательство. Имеем:

$$\begin{aligned} \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{2 \cdot p}\right) &= 3 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{6 \cdot p}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{36 \cdot p^2 + 7 \cdot p}\right) - \\ &- \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{108 \cdot p^2 + 9 \cdot p}\right), \end{aligned}$$

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{3 \cdot p}\right) = 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{6 \cdot p}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{108 \cdot p^2 + 9 \cdot p}\right).$$

Тогда

$$\begin{aligned} 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{2 \cdot p}\right) &= 6 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{6 \cdot p}\right) - 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{36 \cdot p^2 + 7 \cdot p}\right) - \\ &- 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{108 \cdot p^2 + 9 \cdot p}\right), \end{aligned}$$

$$3 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{3 \cdot p}\right) = 6 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{6 \cdot p}\right) - 3 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{108 \cdot p^2 + 9 \cdot p}\right).$$

Окончательно:

$$\begin{aligned} 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{2 \cdot p}\right) - 3 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{3 \cdot p}\right) &= \\ &= -2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{36 \cdot p^2 + 7 \cdot p}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{108 \cdot p^2 + 9 \cdot p}\right). \end{aligned}$$

Также:

$$\begin{aligned} 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{2 \cdot p}\right) - 3 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{3 \cdot p}\right) &= \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{4 \cdot p^3 + 3 \cdot p}\right) - \\ &- \operatorname{arctg}\left(\frac{2}{9 \cdot p^3 + 7 \cdot p}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{2}{27 \cdot p^3 + 9 \cdot p}\right). \end{aligned}$$

Покажем, как можно получать «новые» формулы типа Мэчина.

Пример 3. Получить формулы типа Мэчина, используя формулу Эйлера:

$$\frac{\pi}{4} = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{2}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{3}\right).$$

Решение.

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{4} &= \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{2}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{3}\right) = 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{3}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{7}\right) = \\ &= 4 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{6}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{7}\right) - 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{117}\right) = \\ &= 4 \cdot \left(\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{7}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{43}\right)\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{7}\right) - 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{117}\right). \end{aligned}$$

Получаем:

$$\frac{\pi}{4} = 5 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{7}\right) + 4 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{43}\right) - 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{117}\right)$$

Мера данной формулы $\mu \approx 2,2790$.

Далее:

$$\begin{aligned} 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{43}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{117}\right) &= \operatorname{arctg}\left(\frac{3}{79}\right) = \\ &= \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{26}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{2057}\right). \end{aligned}$$

Окончательно:

$$\frac{\pi}{4} = 5 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{7}\right) + 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{26}\right) - 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{2057}\right)$$

Мера данной формулы $\mu \approx 2,1918$.

Пример 4. Получить формулы типа Мэчина, используя формулу Гаусса:

$$\frac{\pi}{4} = 12 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{18}\right) + 8 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{57}\right) - 5 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{239}\right).$$

Решение. Применив формулу (11), последовательно получаем:

$$\begin{aligned} 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{2}\right) - 3 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{3}\right) &= -2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{43}\right) + \\ + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{117}\right) &= \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{7}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{8}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{18}\right). \end{aligned}$$

Но

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{7}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{8}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{57}\right),$$

тогда:

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{18}\right) = 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{43}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{57}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{117}\right).$$

Окончательно:

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{4} &= 24 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{43}\right) + 20 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{57}\right) - 12 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{117}\right) - \\ - 5 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{239}\right). \end{aligned}$$

Мера данной формулы $\mu \approx 2,0858$, в то время как мера первоначальной формулы Гаусса $\mu \approx 1,7866$.

Преобразуем полученную нами формулу:

$$\begin{aligned} \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{57}\right) - 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{117}\right) &= \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{57}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{117}{6844}\right) = \\ = \operatorname{arctg}\left(\frac{7}{15609}\right) &= \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{2230}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{34808077}\right). \end{aligned}$$

Тогда:

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{4} &= 24 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{43}\right) + 14 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{57}\right) - 5 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{239}\right) + \\ + 6 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{2230}\right) &+ 6 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{34808077}\right). \end{aligned}$$

Мера данной формулы $\mu \approx 2,0334$.

Далее:

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{43}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{57}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{175}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{214557}\right).$$

Для удобства обозначим $\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{x}\right) = [x]$, тогда:

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{4} &= 36 \cdot [57] + 24 \cdot [175] - 5 \cdot [239] + 6 \cdot [2230] - \\ - 24 \cdot [214557] &+ 6 \cdot [34808077] \end{aligned}$$

Далее:

$$\begin{aligned} \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{175}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{239}\right) &= \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{654}\right) + \\ + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{911809}\right) &+ \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{12470933875421}\right) \end{aligned}$$

Окончательно:

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{4} &= 36 \cdot [57] + 19 \cdot [175] + 5 \cdot [654] + 6 \cdot [2230] - \\ - 24 \cdot [214557] &+ 5 \cdot [911809] + 6 \cdot [34808077] + \\ + 5 \cdot [12470933875421] \end{aligned}$$

и так далее.

Пример 5. Вывести формулу для вычисления числа π вида:

$$\frac{\pi}{4} = 5 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{7}\right) + \sum_{i=1}^n a_i \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{b_i}\right).$$

Решение. Пусть

$$\frac{\pi}{4} = 5 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{7}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{a}{b}\right).$$

Тогда, согласно формуле (11), имеем:

$$\begin{aligned} (7+i)^5 &= 7^5 + 5 \cdot 7^4 \cdot i + 10 \cdot 7^3 \cdot i^2 + 10 \cdot 7^2 \cdot i^3 + 5 \cdot 7 \cdot i^4 + \\ + i^5 &= 13412 + 11516 \cdot i, \end{aligned}$$

$$5 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{7}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{2829}{3353}\right),$$

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{a}{b}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{1}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{2829}{3353}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{237}{3116}\right).$$

Далее, используя, что $\left[\frac{237}{3116}\right] = \frac{1}{13}$, получаем:

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{237}{3116}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{13}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{7}{8149}\right).$$

Аналогично:

$$\left[\frac{7}{8149}\right] = \frac{1}{1164},$$

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{7}{8149}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{1164}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{9485443}\right).$$

Тогда:

$$\frac{\pi}{4} = 5 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{7}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{13}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{1164}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{9485443}\right).$$

Мера данной формулы $\mu \approx 2,5505$.

Немного её преобразуем. Так как

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{7}\right) = 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{14}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{1393}\right),$$

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{13}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{14}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{183}\right),$$

то окончательно получаем:

$$\frac{\pi}{4} = 11 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{14}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{183}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{1164}\right) - \\ - 5 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{1393}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{9485443}\right).$$

Мера данной формулы $\mu \approx 2,10206$.

Следующим этапом при желании можно изменять меру формул, ранее выведенных другими авторами.

Пример 6. Вывести формулу для вычисления числа π , используя формулу Кикую Такано:

$$\frac{\pi}{4} = 12 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{49}\right) + 32 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{57}\right) - 5 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{239}\right) + \\ + 12 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{110443}\right).$$

Решение. Как известно, мера данной формулы $\mu \approx 1,7799$.

Имеем:

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{49}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{57}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{4}{1397}\right) = \\ = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{349}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{487557}\right).$$

Тогда:

$$\frac{\pi}{4} = 44 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{57}\right) - 5 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{239}\right) + 12 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{349}\right) + \\ + 12 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{110443}\right) - 12 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{487557}\right).$$

Мера данной формулы $\mu \approx 1,7573$.

Далее:

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{110443}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{487557}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{188557}{26923628876}\right), \\ \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{349}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{188557}{26923628876}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{369}{128467}\right), \\ \operatorname{arctg}\left(\frac{369}{128467}\right) = \\ = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{348}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{11}{89413377}\right) \operatorname{arctg}\left(\frac{11}{89413377}\right) = \\ = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{8128489}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{363397825698682}\right).$$

Тогда, используя сокращённую запись $\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{x}\right) = [x]$, получаем:

$$\frac{\pi}{4} = 44 \cdot [57] - 5 \cdot [239] + 12 \cdot [348] - \\ - 12 \cdot [8128489] - 12 \cdot [363397825698682].$$

Мера данной формулы $\mu \approx 1,5968$.

Можно продолжить:

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{239}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{348}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{109}{83173}\right) = \\ = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{763}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{3}{31730554}\right),$$

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{3}{31730554}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{10576851}\right) - \\ - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{335609341805457}\right).$$

Тогда, используя ту же сокращённую запись, получаем:

$$\frac{\pi}{4} = 44 \cdot [57] + 7 \cdot [239] - 12 \cdot [763] - 12 \cdot [8128489] + \\ + 12 \cdot [10576851] - 12 \cdot [335609341805457] - \\ - 12 \cdot [363397825698682].$$

Данная формула похожа на формулу Карла Стёрмера (1898):

$$\frac{\pi}{4} = 44 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{57}\right) + 7 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{239}\right) - 12 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{682}\right) + \\ + 24 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{12943}\right).$$

Пример 7. Вывести формулу для вычисления числа π , используя формулу Йорга Арндта (2002):

$$\frac{\pi}{4} = 16 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{21}\right) + 3 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{239}\right) + 4 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{421}\right) + \\ + 4 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{1985}\right).$$

Решение. Мера исходной формулы $\mu \approx 1,8611$.

Имеем:

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{421}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{1985}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{3}{1042}\right) = \\ = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{347}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{361577}\right).$$

Тогда:

$$\frac{\pi}{4} = 16 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{21}\right) + 3 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{239}\right) + 4 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{347}\right) - \\ - 4 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{361577}\right).$$

Мера данной формулы $\mu \approx 1,7503$.

Пример 8. Вывести формулу для вычисления числа π , используя формулу Эдварда Эскотта (1896):

$$\frac{\pi}{4} = 22 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{28}\right) + 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{443}\right) - 5 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{1393}\right) - \\ - 10 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{11018}\right).$$

Решение. Мера исходной формулы $\mu \approx 1,6344$.

Последовательно имеем:

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{1}{1393}\right) + 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{11018}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{11018}\right) + \\ + \operatorname{arctg}\left(\frac{63}{77909}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{3919}{4357367}\right),$$

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{3919}{4357367}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{1112}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{561}{4845396023}\right),$$

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{561}{4845396023}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{8637069}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{133280317780182}\right).$$

Окончательно, используя краткую запись, получим:

$$\frac{\pi}{4} = 22 \cdot [28] + 2 \cdot [443] - 5 \cdot [1112] - 5 \cdot [8637069] + 5 \cdot [133280317780182]$$

Мера данной формулы $\mu \approx 1,6121$.

3. Формулы Рамунаджана и братьев Чудновских

Формула, полученная Сринивасой Рамануджаном в 1910 г.:

$$\frac{1}{\pi} = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{9801} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{(4n)! (1103 + 26390 \cdot n)}{(n!)^4 \cdot (396)^{4n}} \right).$$

Уже при суммировании первых 100 элементов этого ряда достигается точность в 600 верных знаков.

Формула, опубликованная братьями Чудновскими в 1988 г.

$$\frac{1}{\pi} = 12 \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{(-1)^n \cdot (6n)! (13591409 + 545140134 \cdot n)}{(3n)! \cdot (n!)^3 \cdot (640320)^{3n + \frac{3}{2}}} \right),$$

основывается на свойствах быстрой сходимости гипергеометрического ряда.

Каждый шаг ряда данной формулы увеличивает точность вычислений в среднем на 14 десятичных знаков. С 2010 г. все мировые рекорды вычисления знаков числа π установлены благодаря данной формуле. Желающие могут ознакомиться с её «элементарным» выводом в работе [6].

4. Формулы типа Бэйли — Боруэйна — Плаффа

Формула Бэйли — Боруэйна — Плаффа для вычисления числа π была открыта в 1995 г. Саймоном Плаффом [7]. Формула позволяет вычислить любую конкретную цифру числа π в шестнадцатеричной системе без вычисления промежуточных цифр и имеет вид:

$$\pi = \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{1}{16} \right)^n \cdot \left(\frac{4}{8 \cdot n + 1} - \frac{2}{8 \cdot n + 4} - \frac{1}{8 \cdot n + 5} - \frac{1}{8 \cdot n + 6} \right).$$

Открытие этой формулы стало неожиданностью, поскольку считалось, что вычисление n -й цифры числа π так же сложно, как и вычисление первых n цифр.

Формула Беллара была открыта Фабрисом Белларом в 1997 г. Она примерно на 43% быстрее, чем формула Бэйли — Боруэйна — Плаффа, и позволяет вычислить любую конкретную цифру числа π в двоичной системе без вычисления промежуточных цифр. Формула Беллара имеет вид:

$$\pi = \frac{1}{2^6} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{(-1)^n}{2^{10n}} \right) \cdot \left(\frac{-2^5}{4 \cdot n + 1} - \frac{1}{4 \cdot n + 3} + \frac{2^8}{10 \cdot n + 1} - \frac{2^6}{10 \cdot n + 3} - \frac{2^2}{10 \cdot n + 5} - \frac{2^2}{10 \cdot n + 7} + \frac{1}{10 \cdot n + 9} \right).$$

Одно из важных применений этих формул — проверка вычислений всех цифр числа π , выполненных други-

ми способами. Вместо того чтобы дважды вычислять все цифры с помощью двух разных алгоритмов для обеспечения правильности вычисления, последние цифры вычисления можно проверить с помощью гораздо более быстрой формулы Беллара или Бэйли — Боруэйна — Плаффа.

Вызывает интерес получение формулы, позволяющей получить n -ю цифру числа π в десятичной системе. Насколько мне известно, на июль 2026 г. подобной формулы не найдено. В 2022 г. Плафф опубликовал формулу, позволяющую получить n -ю цифру числа π в десятичной системе, но фактически она требует вычисления предыдущих цифр, поскольку берёт n -ю цифру приближённого значения числа [8].

IV. Алгоритмы

1. Алгоритм Гаусса — Лежандра

Алгоритм Гаусса — Лежандра также носит название AGM-алгоритма (сокр. от arithmetic-geometric mean — «среднее арифметико-геометрическое»).

Карл Гаусс рассмотрел следующий итерационный процесс:

$$a_0 = 1; b_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}; a_{n+1} = \frac{a_n + b_n}{2}; b_{n+1} = \sqrt{a_n \cdot b_n}.$$

Он определил среднее арифметико-геометрическое двух чисел a и b как общий предел:

$$M(a, b) = \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} b_n.$$

Тогда:

$$\pi = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{2 \cdot a_n^2}{1 - \sum_{k=0}^n 2^k \cdot (a_k^2 - b_k^2)} \right).$$

По непонятным причинам Гаусс не использовал данную формулу для вычисления числа π . В 1975 г. она была заново открыта Юджином Саламином и Ричардом Brentом, которые выразили её соответствующим образом для итерационных вычислений.

Принимаем начальные условия:

$$a_0 = 1; b_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}; p_0 = 1; t_0 = \frac{1}{4}.$$

Повторяем до тех пор, пока разница между a_{n+1} и b_{n+1} не окажется в пределах желаемой точности:

$$a_{n+1} = \frac{a_n + b_n}{2}; b_{n+1} = \sqrt{a_n \cdot b_n}; p_{n+1} = 2 \cdot p_n;$$

$$t_{n+1} = t_n - p_n \cdot (a_{n+1} - a_n)^2.$$

Тогда:

$$\pi \approx \frac{(a_{n+1} + b_{n+1})^2}{4 \cdot t_{n+1}}.$$

Данный алгоритм примечателен своей быстрой сходимостью: всего 25 итераций дают 45 миллионов верных знаков числа π . Однако у него есть некоторые недостатки, например он требует больших объёмов компьютерной памяти.

2. Алгоритм Боруэйна

Данный алгоритм, открытый в 1985 г. Джонатаном и Питером Боруэйнами, сходится чрезвычайно быстро [9].

Принимаем:

$$s_0 = \sqrt{2} - 1; t_0 = 2 \cdot (\sqrt{2} - 1)^2.$$

Последовательно выполняем итерации:

$$s_{n+1} = \frac{1 - \sqrt[4]{1 - s_n^4}}{1 + \sqrt[4]{1 - s_n^4}},$$

$$t_{n+1} = t_n \cdot (1 + s_{n+1})^4 - 2^{2n+3} \cdot s_{n+1} \cdot (1 + s_{n+1} + s_{n+1}^2).$$

Тогда:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} t_n = \frac{1}{\pi}.$$

Данный алгоритм даёт около 100 знаков числа π за 3 шага и более триллиона знаков за 20 шагов.

V. Другое

1. Вероятностные методы

1.1. Метод Монте-Карло

Вычисление π методом Монте-Карло основано на случайном бросании точек в круг, вписанный в квадрат. Вероятность P того, что точка попадёт внутрь круга, равна отношению площадей:

$$P = \frac{S_{\text{круга}}}{S_{\text{квадрата}}} = \frac{\pi}{4}.$$

Размерность пространства	2	3	4	5	6	7	8
Отношение объёма n -мерного шара к объёму описанного n -мерного куба	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi^2}{32}$	$\frac{\pi^2}{60}$	$\frac{\pi^3}{384}$	$\frac{\pi^3}{840}$	$\frac{\pi^4}{6144}$

1.2. Игла Бюффона

Задача была сформулирована Бюффеном в 1777 г. Суть метода состояла в бросании иглы длиной L на плоскость, расчерченную параллельными прямыми, расположенными на расстоянии r друг от друга. Оказалось, что эта задача сделала возможным определение числа π вероятностными методами.

При условии $r > L$ вероятность того, что игла пересечёт прямую:

$$P = \frac{2 \cdot L}{\pi \cdot r}.$$

Таким образом, подсчитав долю отрезков, пересекающих прямые, можно приближённо определить число π .

У данной задачи существует вариация «Макаронина Бюффона» с таким же ответом. Суть вариации — в бросании плоской кривой любой формы («макаронины») длиной L на плоскость, расчерченную параллельными прямыми, расположенными на расстоянии r друг от друга.

2. Интегралы

В 1944 г. инженер-электрик Дональд Далзелл установил, что

$$0 < \int_0^1 \left(\frac{x^4 \cdot (1 - x^4)}{1 + x^2} \right) dx = \frac{22}{7} - \pi,$$

так как

$$\begin{aligned} \frac{1}{1260} &= \int_0^1 \left(\frac{x^4 \cdot (1 - x^4)}{2} \right) dx < \int_0^1 \left(\frac{x^4 \cdot (1 - x^4)}{1 + x^2} \right) \times \\ &\times dx < \int_0^1 \left(\frac{x^4 \cdot (1 - x^4)}{1} \right) dx = \frac{1}{630}. \end{aligned}$$

Вызывает интерес вопрос: в пространстве какой размерности погрешность вычисления π будет наименьшей при прочих равных условиях?

Объём n -мерного куба:

$$V_{\text{куб}}(n) = 2^n \cdot R^n,$$

где R — радиус вписанного n -мерного шара.

Объём n -мерного шара:

$$V_{\text{шар}}(n) = \begin{cases} \frac{\pi^k}{k!} \cdot R^n, & \text{если } n = 2 \cdot k \\ \frac{2^{2k+1} \cdot \pi^k}{(2k+1)!!} \cdot R^n, & \text{если } n = 2 \cdot k + 1 \end{cases}$$

Тогда отношение объёма n -мерного шара к объёму описанного n -мерного куба равно

$$\frac{V_{\text{шар}}(n)}{V_{\text{куб}}(n)} = \frac{\pi^{\frac{n}{2}}}{2^n \cdot \left(\Gamma\left(\frac{n}{2}\right) + 1 \right)}$$

и при $n \rightarrow \infty$ стремится к нулю быстрее, чем 2^{-n} .

Например, для $n \leq 8$:

Тогда:

$$\frac{22}{7} - \frac{1}{630} < \pi < \frac{22}{7} - \frac{1}{1260},$$

$$3,1412 < \pi < 3,1421.$$

Действуя аналогичным образом, в 2005 г. Стивен Лукас показал [10]:

$$\frac{1}{64} \cdot \int_0^1 \left(\frac{x^{16} \cdot (1 - x^{16})}{1 + x^2} \right) dx = \pi - \frac{741269838109}{235953517800},$$

$$\frac{1}{128} \cdot \int_0^1 \left(x^{16} \cdot (1 - x^{16}) \right) dx = \frac{1}{2538963567360}.$$

Это даёт следующую оценку:

$$3,14159265358955 < \pi < 3,14159265358996.$$

3. Физика

Физики, изучая квантовую теорию поля, случайно открыли новую формулу для вычисления числа π [11]:

$$\pi = 4 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n!} \right) \cdot \left(\frac{1}{n+\lambda} - \frac{4}{2 \cdot n+1} \right) \cdot \left(\frac{(2 \cdot n+1)^2}{4 \cdot (n+\lambda)} - n \right)_{n-1}.$$

При $\lambda \rightarrow \infty$ слагаемое под знаком суммы переходит

в $(-1)^n \cdot \left(\frac{4}{2 \cdot n+1} \right)$, что соответствует ряду Лейбница.

В то время как для сходимости ряда Лейбница до 10 знаков после запятой требуется 5 миллиардов членов, данная формула с λ от 10 до 100 требует 30 членов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Жуков А. В. О числе π . — Москва: МЦНМО, 2002. — 32 с.
2. Approximations of pi // Wikipedia. — URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Approximations_of_pi (дата обращения 28.07.2026).
3. Двайт Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы. — Москва: Наука, 1977. — 229 с.
4. Machin-like formula // Wikipedia. — URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Machin-like_formula (дата обращения 28.07.2026).
5. Lehmer D. H. On Arccotangent Relations for π // The American Mathematical Monthly. — Vol. 45, No. 10 (1938). — P. 657–664.
6. Milla L. A detail proof of the Chudnovsky formula with means of basic complex analysis. — URL: <https://arxiv.org/abs/1809.00533> (дата обращения 28.07.2026).
7. Bailey D. H., Borwein P. B., Plouffe S. On the Rapid Computation of Various Polylogarithmic Constants // Mathematics of Computation. — Vol. 66 (218), 1996. — P. 903–913.
8. Plouffe S. A formula for the n'th digit of π and π^n . — URL: <https://arxiv.org/pdf/2201.12601> (дата обращения 28.07.2026).
9. Borwein J. M., Borwein P. B. Pi and the AGM: A Study in Analytic Number Theory and Computational Complexity. — Wiley-Interscience, New York, 1987. — 414 p.
10. Stephen L. (2005), Integral proof that $355/113 > \pi$ // Australian Mathematical Society Gazette. — Vol. 32 (4). — P. 263–266.
11. Saha A., Sinha F. Field Theory Expansions of String Theory Amplitudes // Physical Review Letters. — Vol. 132 (2024), 221601.

Как я подружился с графами Эйлера

Дятлов Матвей Станиславович, учащийся 2-го класса

Научный руководитель: Макарова Наталия Николаевна, учитель начальных классов

МБОУ «Средняя общеобразовательная школа № 4» г. Калуги

Обводить контуры без отрыва ручки — привычное занятие, но не всегда это просто. Автор разбирает математическую суть таких заданий с помощью трудов Леонарда Эйлера. Эксперимент с пятью геометрическими объектами подтвердил теорию Эйлера, продемонстрировав трансформацию обычных линий в занимательную игру.

Ключевые слова: теория графов, вершины, рёбра, эйлеров путь, безотрывное рисование.

Введение
Когда я случайно набросал на листе бумаги домик, это побудило меня обвести его контур без отрыва карандаша и без повторений. Конечно, удалось не сразу. Но когда получилось, появилось желание проверить другие фигуры. Звезду получилось нарисовать безотрывно легко, а конверт, к сожалению, нет. У меня возник вопрос: почему одни фигуры рисуются безотрывно, а другие — нет? Я поинтересовался у своей учительницы Наталии Николаевны. Она рассказала мне о принципе графов Эйлера и предложила разобраться в данном материале. Имя математика было мне на тот момент незнакомо, так как я пока ещё учусь в начальной школе. Само правило Эйлера оказалось достаточно простым. Теперь у меня быстро получается понять, можно ли конкретную фигуру нарисовать безотрывно или нет.

Цель работы — изучение правила Эйлера на практике и определение возможности обведения фигуры, не отрывая карандаш.

Объект исследования: плоские геометрические фигуры на листе бумаги.

Предмет исследования: возможность построения эйлерова пути (безотрывное рисование).

Задачи:

1. Изучить базовые понятия теории графов: вершины и рёбра.
2. Разобраться в различиях между чётными и нечётными вершинами.
3. Проанализировать пять выбранных фигур, подсчитать количество их вершин.
4. Экспериментально проверить возможность обведения каждой фигуры без отрыва руки.
5. Сформулировать вывод о работоспособности правила Эйлера.

Теоретическая часть

Понятие графа

В математике термин «граф» имеет особое значение. Это не диаграмма и не литературный персонаж, а структура, состоящая из точек (вершин) и соединяющих их линий (рёбер).

Треугольник — граф с тремя вершинами и тремя рёбрами. Квадрат — тоже граф. Добавление диагоналей усложняет структуру, но принцип остается прежним. Ключевая характеристика графа — не внешний вид, а количество линий, исходящих из каждой точки.

Классификация вершин

Для решения задачи важно определить тип каждой вершины:

— Чётная вершина: из неё исходит чётное число линий (2, 4, 6 и т. д.). В такую точку можно войти и затем выйти, не останавливаясь.

— Нечётная вершина: из неё исходит нечётное число линий (1, 3, 5 и т. д.). Здесь путь либо начинается, либо заканчивается.

Эйлер установил важное свойство: количество нечётных вершин в любом графе всегда чётно (0, 2, 4 и т. д.). Одинокая нечётная вершина существовать не может.

Правило Эйлера

Для того чтобы нарисовать фигуру одним росчерком без повторений, необходимо выполнить одно из следующих условий:

— Нуль нечётных вершин: путь можно начать с любой точки и завершить в той же самой (замкнутый контур). Пример: окружность, звезда.

— Две нечётные вершины: путь должен начинаться в одной из них и заканчиваться в другой (разомкнутый контур). Пример: домик.

— Четыре или более нечётных вершин: нарисовать фигуру одним росчерком невозможно. Придётся либо отрывать карандаш, либо проходить по линиям дважды. Пример: конверт.

Методика исследования

Для проверки теории были выбраны пять фигур разной сложности. Для каждой из них проводился трёхэтапный анализ: построение фигуры в тетради; обозначение вершин и подсчёт исходящих рёбер (нечётные вершины отмечались красным, чётные — синим цветом); обведение фигуры. Результат фиксировался — успех или неудача.

Используемые фигуры: окружность (замкнутая линия без углов); треугольник с линией (треугольник, разделённый линией из вершины в основание); открытый конверт (прямоугольник с пересекающимися диагоналями); домик (квадрат с треугольной крышей); пятиконечная звезда (правильная звёздчатая фигура).

Анализ результатов. Полученные данные сведены в таблицу 1:

Таблица 1. Сопоставление количества нечётных вершин и возможности обведения

Номер	Название фигуры	Количество нечётные вершин	Удалось нарисовать?	Где начинал рисовать
1	Окружность	0	Да	В любом месте
2	Треугольник с полоской	2	Да	С левого нижнего угла
3	Открытый конверт	4	Нет	Пробовал везде — не вышло
4	Домик	2	Да	С нижнего левого угла
5	Пятиконечная звезда	0	Да	С любого острия

Самым сложным испытанием стал «конверт». Несмотря на множество попыток начать обведение из разных точек (углов, центра, пересечений), результат оставался неизменным: либо карандаш приходилось отрывать, либо линия проходила дважды. Это полностью согласуется с наличием четырёх нечётных вершин.

Звезда удивила своей простотой. Несмотря на визуальную сложность, она имеет нуль нечётных вершин, что позволяет начать обведение с любого острия и вернуться в исходную точку.

Домик был обведён успешно благодаря наличию двух нечётных вершин (нижних углов). Путь логично начинался в одном углу и заканчивался в другом.

Заключение

Проведённое исследование доказало, что математика — это интересная наука. Правило Леонарда Эйлера,

сформулированное несколько столетий тому назад, остаётся актуальным.

Основные выводы работы:

Графы представляют собой обычные формы из точек и линий, которые несложно решить.

Чтобы определить возможность рисования фигуры одним росчерком необходимо только подсчитать количество нечётных вершин. Если таких вершин 0 или 2 — фигуру обвести неотрывая руки можно. Если 4 или более, к сожалению, задача невыполнима.

Гипотеза о работоспособности правила Эйлера полностью подтверждена на всех протестированных примерах.

Теперь у меня получается определить, можно ли фигуру обвести, не отрывая руки или нет, только посмотрев на неё и проанализировав. Это правило вызвало живой интерес среди моих одноклассников. В дальнейшем я планирую продолжить работать над данной темой.

ЛИТЕРАТУРА:

- Оре О. Теория графов. — М.: Наука, 1968. — 336 с.
- Перельман Я. И. Занимательная геометрия. — М.: АСТ, 2017. — С. 110–115.
- Харари Ф. Теория графов. — М.: Мир, 1973. — 300 с.
- Эйлер Л. Решение задачи, связанной с геометрией положения. — Записки Петербургской Академии наук, 1736. — Т. 8. — С. 128–140.
- Энциклопедия для детей. Математика. — М.: Аванта+, 2020. — С. 78–82.

Оператор «атикс»: формализация инструмента для извлечения кубического корня

Филимонова Алина Михайловна, учащаяся 10-го класса

МБОУ «Ершицкая средняя школа» (Смоленская область)

Научный руководитель: Филимонова Марина Сергеевна, преподаватель

Профессиональный лицей № 6 г. Смоленска

В статье вводится и формализуется понятие оператора «атикс» — специально сконструированного математического инструмента, целевое назначение которого состоит в извлечении кубического корня из действительных чисел. Рассматриваются определение оператора, его основные свойства, связь с классическими алгебраическими операциями, а также примеры применения и возможные направления дальнейшего развития концепции.

1. Введение
Извлечение корней — одна из фундаментальных операций элементарной алгебры. Кубический корень, в отличие от квадратного, определён на всём множестве действительных чисел и сохраняет знак исходного значения. В ряде прикладных задач (например, при расчёте объёмов, анализе степенных зависимостей, моделировании физических процессов) требуется систематическое применение операции извлечения кубического корня.

В данной работе предлагается формализовать эту операцию в виде специального оператора, условно названного «атикс». Цель введения такого оператора — упростить запись и анализ алгоритмов, где извлечение кубического корня является ключевой операцией, а также создать терминологическую основу для дальнейших теоретических исследований.

2. Определение оператора «атикс»

Пусть x принадлежит $\mathbb{R}$ — произвольное действительное число.

Определение. Оператором «атикс», обозначаемым $\text{Atix}(x)$, называется функция, сопоставляющая числу x его действительный кубический корень:

$$\text{Atix}(x) = \sqrt[3]{x}.$$

Таким образом, по определению:

$$(\text{Atix}(x))^3 = x.$$

Функция $\text{Atix}(x)$ определена на всей числовой прямой $\mathbb{R}$, строго возрастает, нечётна:

$$\text{Atix}(-x) = -\text{Atix}(x), \text{ и непрерывна на } \mathbb{R}.$$

3. Основные свойства оператора «атикс»

1. Нечётность.

Для любого x принадлежит $\mathbb{R}$:

$$\text{Atix}(-x) = -\text{Atix}(x).$$

2. Мультипликативность.

Для любых x, y принадлежит $\mathbb{R}$:

$$\text{Atix}(xy) = \text{Atix}(x) * \text{Atix}(y).$$

3. Делимость.

Для $y \neq 0$:

$$\text{Atix}(yx) = \text{Atix}(y) / \text{Atix}(x).$$

4. Композиция со степенями.

Для любого целого k :

$$\text{Atix}(x^k) = (\text{Atix}(x))^k \text{ при условии, что выражение имеет смысл в } \mathbb{R}.$$

5. Связь с возведением в степень.

Оператор «атикс» эквивалентен возведению в степень $1/3$:

$$\text{Atix}(x) = x^{\frac{1}{3}}$$

4. Примеры применения оператора «атикс»

Пример 1. Вычислить $\text{Atix}(27)$.

По определению:

$\text{Atix}(27) = \sqrt[3]{27} = 3$, поскольку 3 в степени $3 = 27$.

Пример 2.

Вычислить $\text{Atix}(-64)$.

Используя нечётность оператора:

$$\text{Atix}(-64) = -\text{Atix}(64) = -4, \text{ так как } 4 \text{ в степени } 3 = 64.$$

Пример 3. Упростить выражение $\text{Atix}(8a^3b^6)$.

Применяя мультипликативность:

$$\text{Atix}(8a^3b^6) = \text{Atix}(8) * \text{Atix}(a^3) * \text{Atix}(b^6).$$

Вычисляем:

$$\text{Atix}(8) = 2,$$

$$\text{Atix}(a^3) = a, \text{ Atix}(b^6) = b^2.$$

Следовательно:

$$\text{Atix}(8a^3b^6) = 2ab^2.$$

5. Связь с численными методами

На практике, когда точное значение кубического корня найти сложно, используют численные методы. Оператор «атикс» может служить абстрактной оболочкой для таких методов.

Например, метод Ньютона для нахождения $\sqrt[3]{a}$ основан на итерационной формуле:

$$x_{n+1} = \frac{2x_n^2 + a}{3x_n^2} \text{ — числитель дроби, } 3 \text{ — знаменатель.}$$

Тогда:

$$\text{Atix}(a) = \lim_{n \rightarrow \infty} x_n.$$

Это позволяет рассматривать $\text{Atix}(a)$ не только как аналитическую функцию, но и как предел последовательности, порождаемой численным алгоритмом.

6. Возможные расширения концепции

Хотя в данной работе оператор «атикс» определён только для действительных чисел, возможны следующие направления обобщения.

Комплексные числа. В поле $\mathbb{C}$ у каждого ненулевого числа существует три кубических корня. Тогда $\text{Atix}(z)$ можно определить как главный кубический корень (с наименьшим аргументом).

Матрицы. Можно рассмотреть кубические корни матриц, где $\text{Atix}(A)$ — матрица B , такая что $B^3 = A$.

Функциональные пространства. В более абстрактных структурах можно исследовать операторы, «извлекающие кубический корень» из функций или операторов.

7. Заключение

Введение оператора «атикс» как формального обозначения операции извлечения кубического корня позволяет унифицировать запись математических выражений, упростить анализ алгоритмов и создать удобную терминологическую базу для дальнейших исследований. Свой-

ства оператора согласуются с классическими свойствами кубического корня, а его применение возможно как в теоретических, так и в прикладных задачах.

Концепция допускает естественные обобщения на более сложные математические структуры, что открывает перспективы для дальнейших научных разработок.

Симметрия в математике и практической деятельности людей

Чижанькова Анна Андреевна, учащаяся 7-го класса

Научный руководитель: Сармина Надежда Николаевна, учитель математики, завуч

МБОУ СОШ № 6 г. Смоленска

Статья посвящена изучению понятия симметрия, исследованию использования симметрии в математике и повседневной деятельности человека. В работе рассматривается появление понятия «симметрия» и его изменение с течением времени, виды симметрии.

Ключевые слова: симметрия, симметрия в математике, изменение понятия симметрии в исторической ретроспективе, виды симметрии.

Введение
Если посмотреть на окружающий нас мир, то мы увидим, что всё вокруг гармонично и имеет строгий порядок. Нас восхищает красота и пропорциональность в природе. Человеческое восприятие с удовольствием воспринимает правильные пропорции, они кажутся нам красивыми. Изучая историю, мы видим, что понятие «симметрия» развивалось благодаря изучению природы и живых организмов. Понятие симметрии используется и в математике, как строгая математическая закономерность. Известный французский математик Анри Пуанкаре писал: «Симметрия — это не просто узор. Это тайная договоренность между элементами, которая остаётся неизменной при определённых преобразованиях».

Актуальность исследования обусловлена необходимостью изучить применение симметрии в математике и в повседневной жизни.

Проблема. Для каких сфер деятельности человека важно использование математической симметрии.

Объект исследования — понятие симметрии в математике.

Предмет исследования — применение симметрии в практической деятельности.

Цель — исследовать использование математической симметрии в нашей жизни.

Задачи исследования:

1. Изучить суть понятия «симметрия»;
2. Выявить описанные в научных источниках виды симметрии в математике;
3. Определить значимость использования математической симметрии в различных сферах жизни.

Методы исследования: изучение научной литературы, анализ и синтез.

Основная часть.

Симметрия пронизывает всю жизнь человека. Она ясно представляется в строение человеческого тела, в зеркальности правой и левой рук, ног. Симметрия проявляется в гармонии человеческих движений: в танцах, технической работе, искусстве.

Академик А. В. Шубников писал: «Изучение археологических памятников показывает, что человечество на заре своей культуры уже имело представление о симметрии и осуществляло её в рисунке и в предметах быта. Надо полагать, что применение симметрии в первобытном производстве определялось не только эстетическими мотивами, но в известной мере и уверенностью человека в большой пригодности для практики правильных форм».

Симметрия (от греческого «соразмерность») — это соответствие частей, расположенных по обе стороны от центра, плоскости или оси. Симметрия — такое важное понятие, которое встречается в математике, природе, повседневной жизни, искусстве и науке. Если предмет симметричен, то его части «повторяют» друг друга. Можно сказать, что симметрия — это «отзеркаленное» положение чего-либо. В качестве наглядного объяснения, можно представить предмет, затем мысленно провести черту посередине (ось симметрии), а затем посмотреть, что две части предмета абсолютно симметричны. Для проверки есть ли у предмета симметрия, нужно повернуть, сдвинуть или отразить предмет, и если в нём нечего не изменится, можно сделать вывод, что у этого объекта есть симметрия. Существует пять главных категорий симметрии (рис. 1):



Рис. 1. Категории симметрии (Схема составлена автором)

История появления и развития понятия симметрии.

В глубокой древности люди начали замечать соразмерность в лепестках, листьях, крыльях бабочек. Философы и древнегреческие учёные в своих размышлениях стали активно использовать идею симметрии и предаваться философскому осмыслению этой темы. Греки связывали понятие симметрии с красотой и порядком. Сам термин «симметрия» появился в 5 веке до н. э., его ввёл скульптор Пифагор Регийский. Он сделал вывод о сферичности Земли. Пифагор рассматривал симметрию как пространственную закономерность в расположении одинаковых фигур или частей. Именно Пифагор сформулировал понятие симметрии и с тех пор она стала играть важную роль в математике. Последователи Пифагора (пифагорейцы) видели в симметрии числовую основу мироздания. Пифагорейцы выделяли пары противоположностей, которые сочетаясь, создают гармонию. Например: чётное — нечётное, правое — левое. В 5 веке до н. э. философ Платон заявлял, что симметрия имеет глубокий смысл: быть прекрасным значит быть симметричным. Позже Платон развивал идею о том, что геометрические формы — это воплощение симметрии. Приблизительно к 4 веку до н. э. Аристотель сказал, что симметрия связана с понятием «средней меры». Из философии симметрия перетекла в строгую математику. В это период симметрия стала инструментом познания.

В 1830 году Иоганн Гессель вывел 32 класса симметрии кристаллов. Благодаря этому открытию, Гессель составил математическое описание всех типов симметрии для конечных геометрических фигур. В то же время Эварист Галуа, а позже и Феликс Клейн развивали идею о том, что симметрия представляет собой набор трансформаций, которые не изменяют исходный объект. Так симметрия, являющаяся лишь предметом философских размышлений, переросла в математический инструмент. В течении двадцатого века представление о симметрии стало значительно глубже. Эмми Нётер установила принцип о том, что любой непрерывной симметрии в физической системе соответствует закон сохранения. К примеру, симметрия во времени — это закон сохранения энергии. То есть Эмми Нётер связала симметрию с законами физики. В следствии этого принципа симметрия стала ключом к построению физических теорий.

Симметрия в математике и описание её видов

Симметрия является важным инструментом в разделе математики - геометрии. Она помогает создавать классификацию фигур, решать задачи и строить алгоритмы. Симметрия (пропорциональная гармония) — это такое

свойство фигур, при котором части объекта остаются неизменными при определённых преобразованиях (например, когда отражаются относительно плоскости, оси или центра). Симметрия имеет разные виды.

Основные виды симметрии в математике и их построение представлены далее в таблице 1.

Опишем их:

1. Осевая симметрия — это симметрия относительно прямой, то есть каждая точка фигуры имеет зеркальное отражение относительно оси. Например, чтобы построить треугольники, симметричные друг другу относительно прямой, нужно воспользоваться определённым алгоритмом. Сначала нужно начертить первый треугольник, а затем из его вершин провести прямые, которые перпендикулярны оси симметрии и продлить их на другую сторону оси. Далее нужно измерить расстояние от вершин до точек пересечения с прямой и отложить такие же отрезки с другой стороны, а затем соединить полученные точки отрезками, чтобы получить симметричный данному треугольник. Если вся первая фигура совпадает со второй, значит она имеет осевую симметрию относительно этой оси.

2. Центральная симметрия — это симметрия относительно точки. В результате такого преобразования, положение каждой точки фигуры меняется так, что центр симметрии становится серединой отрезка, образованного от исходной точки и её новым положением. Для того чтобы построить фигуру, симметричную изначальной фигуре относительно точки (центра), нужно соединить вершины первого треугольника с центром и продлить отрезки далее, затем такие же отрезки отложить с другой стороны от точки и соединить полученные точки отрезками. Получим треугольник, который симметричен изначальной фигуре относительно центра.

3. Зеркальная симметрия — это симметрия относительно плоскости. Зеркальной симметрией называю такое отображение пространства, при котором любая точка переходит в симметричную ей относительно плоскости. Такую плоскость называют плоскость симметрии. Для того, чтобы построить зеркальную симметрию тоже нужно применить специальный алгоритм. Сперва нужно построить фигуру или угол, затем провести перпендикуляры, а потом найти середины отрезков и поставить точку, чтобы от этой точки отметить такой же отрезок с другой стороны. На конечном этапе соединяем точки и получаем зеркальное отражение изначального объекта относительно плоскости (таблица 1).

Таблица 1. Основные виды симметрии

Осевая симметрия (симметрия относительно прямой оси)	Центральная симметрия (симметрия относительно точки)	Зеркальная симметрия (симметрия относительно плоскости)

(Изображения взяты из открытых источников)

Помимо четырёх основных видов математичкой симметрии в геометрии есть редкие виды симметрии, представленные в таблице 2.

Опишем их:

1. Вращательная симметрия — это свойство фигуры, при котором объект может быть повёрнут вокруг конкретной точки на угол, не превышающий 360 градусов, и при этом полностью совпадёт со своим исходным положением.
2. Скользящая симметрия — это когда сначала выполняется отражение фигуры относительно прямой (оси), затем она параллельно смещается вдоль этой же оси на заданный вектор.

3. Трансляционная симметрия — это свойство объекта, будь то фигура, структура или математическое описание, при котором его облик остается неизменным даже после параллельного переноса, или трансляции, выполненного на фиксированный вектор. Иными словами, если мы сместим объект вдоль этого вектора, или на любую его целочисленную кратность, он безупречно совпадет сам с собой, как будто и не было никакого перемещения.
4. Сферическая симметрия — это свойство, при котором облик объекта (фигуры или угла и т. д.) не изменяется, независимо от того, какие замысловатые кульбиты он совершает, при условии, что одна точка никак не изменится.

Таблица 2. Редкие виды симметрии

Вращательная симметрия	Скользящая симметрия	Трансляционная симметрия	Сферическая симметрия

(Изображения взяты из открытых источников)

Таким образом исследование видов математической симметрии показало, что с её помощью в математике классифицируют и анализируют фигуры, описывают свойства фигур, осуществляют построение симметричных фигур, доказывают теоремы и упрощают вычисления, приводя сложные задачи к более простым.

Математическая симметрия используется не только в геометрии и математике, но и в других сферах повседневной жизни. Она помогает создавать гармоничные формы (в строительстве и архитектуре), решать инженерные задачи, создавать графики и интересные дизайны, она также помогает открывать законы природы и создавать предметы повседневного обихода. Теперь подробно

разберём, для чего конкретно нужна математическая симметрия в жизни:

1. Математическая симметрия в быту. В быту чаще всего используется осевая, центральна, поворотная и зеркальная симметрия. Например, для изготовления таких предметов обихода как кружка, кастрюля, тарелка используют поворотную и осевую симметрию из-за того, что в этих предметах присутствует симметрия, в них равномерно распределяется тепло и предмет удобно держать в руках. Симметрия используется и при изготовлении мебели, которая симметрична относительно вертикальной оси. Стол, шкаф, стул имеют одинаковые ножки, дверцы благодаря симметрии, и из-за этого мебель создаёт баланс в интерь-

ере комнаты. Математическая симметрия присутствует и в нашей повседневной одежде. Платье, шорты, куртка симметричны по центру, у них есть карманы, пуговицы, рукава, которые тоже симметричны. Симметрия используется при изготовлении обуви — (пара ботинок имеет зеркальную симметрию. Все эти предметы изготавливаются с помощью математической симметрии, в следствие чего имеют красивый и эстетичный вид.

2. Математическая соразмерность в архитектуре и строительстве. Математическая симметрия является ключевым принципом создания удивительных архитектурных композиций. Часто в архитектуре симметрию называют царицей архитектурного совершенства. Различные здания построены на основе осевой, зеркальной и центральной симметрии, они имеют устойчивость, величие и красоту. Например, Тадж — Махал в Индии, многие театры и музеи построены с помощью математической симметрии, поэтому эти здания воспринимаются эстетически привлекательными. Математическая симметрия помогает архитекторам и инженерам сделать их задумки устойчивыми. По поводу надобности математической симметрии в архитектуре Франсуа Блондель писал так: «Удовлетворение, которое мы испытываем, глядя на прекрасное произведение искусства, проистекает оттого, что в нём соблюдены правила и мера, ибо удовольствие в нас вызывают единственно лишь пропорции».

3. В инженерии математическая симметрия влияет на устойчивость и эффективность работы механизмов. Так симметричная форма автомобилей, самолётов и подводных лодок снижает сопротивление воды и воздуха. Детали техники словно части единого гармоничного целого, обретают свою безупречность благодаря осевой или центральной симметрии, что подчеркивает их функциональную красоту. Часто симметрию в инженерии комбинируют с асимметрией, чтобы дизайн получился более интересным.

4. Математическая симметрия используется в дизайне. С помощью математической симметрии можно организовать визуальное пространство и задать ритм, создать симметричное расположение элементов любой композиции, выстроить иерархию, выделяя ключевые элементы.

5. Математическая симметрия содействует развитию науки и изучению законов природы. Учёные используют математический аппарат теории симметрии и применяют его в физике, биологии и химии. В физике математическая симметрия упрощает уравнения и помогает формулировать законы природы. В химии симметрия помогает раскрывать тайны молекул, их свойств и реакционной способности. Важную роль симметрия сыграла в кристаллографии, послужив ключом к классификации кристаллов. В биологии анализ с помощью математической симметрии открывает путь к пониманию развития форм жизни.

Таким образом по результатам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что математическая симметрия используется во многих науках и отраслях.

Заключение

Исследование понятия симметрии показало, что математическая симметрия является важным инструментом, используемым в науке и повседневной жизни человека. Благодаря использованию понятия симметрия в науке, учёные описывают окружающую действительность, природу вещей, открывают законы, классифицируют объекты и явления, выявляют связи. В математике симметрия позволяет упрощать расчёты, выявлять инвариантность решений. Помимо науки, математическая симметрия используется в таких видах деятельности человека, как архитектура, строительство, дизайн, инженерия и производство различных товаров. Именно применение симметрии позволяет создавать правильные, эргономичные, сбалансированные объекты, имеющие приятные глазу очертания, удобные в использовании и обладающие необходимыми для применения физическими и химическими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Математика. Геометрия: 7–9-е классы: базовый уровень:
2. учебник: издание в pdf-формате/Л. С. Атанасян, В. Ф. Бутузов,
3. С. Б. Кадомцев [и др.]. — 15-е изд., стер. — Москва: Просвещение,
4. 2024 г. <https://my-uchebnik.ru/book/geometry/4/geometry-00000039.htm>
5. Статья «Язык симметрии» Д. МАМФОРД, Д. РАЙТ, К. СИРИС в научно-популярном физико-математическом журнале «Квант» <https://kvant.mccme.ru/pdf/2011/04/Mamford.pdf>
6. А. П. Коротченко «Сущность и асимметрия времени: от Аристотеля и до единой теории природы», ж. Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия: Технические науки. — 1998 г. <https://cyberleninka.ru/article/n/suschnost-i-asimmetriya-vremeni-ot-aristotelya-i-do-edinoj-teorii-prirody>
7. Гончарова С. Г., Кукин Построение геометрии на основе понятия симметрии — Наука, 1969.

ИНФОРМАТИКА



Доверие к алгоритму: эмпирическое исследование взаимодействия человека и искусственного интеллекта при решении вероятностных задач с N исходами

Гаврилов Артем Александрович, учащийся 8-го класса

Научный руководитель: Хаметзянова Алина Мансуровна, учитель информатики и ИКТ

МАОУ «Нурлатская гимназия имени М. Е. Сергеева» (Республика Татарстан)

В работе описан онлайн-эксперимент, в котором 506 человек решали расширенный парадокс Монти Холла с десятью дверями. Участники были случайно разделены на четыре группы, различавшиеся только тем, какой совет давал им искусственный интеллект: совета не было вовсе, совет был заведомо ложным, совет был коротким указанием без объяснений или содержал полное математическое обоснование. Установлено, что уверенное указание алгоритма повышает долю верных решений, однако развёрнутое объяснение не даёт никакого преимущества перед сухим приказом: различие между этими условиями составило менее одного процентного пункта. Ложный совет, напротив, ухудшил результаты участников. Полученные данные показывают, что человек реагирует прежде всего на сам факт уверенного указания алгоритма, а не на качество его аргументации.

Ключевые слова: парадокс Монти Холла, теория вероятностей, искусственный интеллект, доверие к алгоритмам, когнитивные искажения, принятие решений, онлайн-эксперимент.

Введение
Ещё несколько лет назад совет от компьютера был редкостью. Сегодня подсказки алгоритмов сопровождают человека постоянно: навигатор предлагает маршрут, поисковая система дописывает запрос, голосовой помощник отвечает на вопрос, а нейросетевые чат-боты помогают школьникам разбирать домашние задания. Мы привыкли к тому, что машина отвечает быстро и уверенно, и всё чаще принимаем её ответ, не проверяя. Именно поэтому вопрос о том, как именно алгоритм влияет на решение человека, перестал быть теоретическим.

Проблема состоит в том, что доверие к алгоритму устроено непросто. С одной стороны, исследователи описали эффект расположения к алгоритмам: люди охотнее следуют совету, если считают, что его дала программа, а не другой человек [6, с. 90]. С другой стороны, известен и противоположный эффект — алгоритмическое отторжение: стоит человеку один раз увидеть ошибку программы, как он перестаёт ей доверять гораздо быстрее, чем перестал бы доверять ошибившемуся человеку [4, с. 114]. Получается, что заранее предсказать реакцию человека на совет машины нельзя. Остаётся открытым и более практический вопрос: важно ли, в какой форме алгоритм подаёт свой совет — просто называет ответ или объясняет, откуда он взялся.

Чтобы проверить это, нужна задача, в которой правильный ответ строго известен математически, но противоречит интуиции. Такой задачей является парадокс

Монти Холла. В нём человек, полагаясь на здравый смысл, почти всегда ошибается, а теория вероятностей даёт однозначный верный ответ. Значит, по действиям участника можно точно сказать, послушал он алгоритм или нет.

Объект исследования — поведение человека при выборе в условиях неопределённости. Предмет исследования — влияние формы совета искусственного интеллекта на принимаемое человеком решение.

Цель работы — выяснить, как разные формы совета алгоритма влияют на долю верных решений в вероятностной задаче с десятью исходами.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- 1) изучить математику классического парадокса Монти Холла и вывести формулы для обобщённого случая с N дверями;
- 2) разобраться, какие особенности мышления мешают человеку решить эту задачу верно;
- 3) разработать веб-приложение, которое проводит эксперимент и автоматически записывает результаты;
- 4) провести эксперимент на большой выборке и обработать полученные данные статистическими методами;
- 5) сформулировать выводы о том, какая форма совета алгоритма действует на человека сильнее всего.

Перед началом эксперимента мы выдвинули три гипотезы.

Гипотеза 1. Подсказка искусственного интеллекта повышает долю верных решений по сравнению с самостоятельным выбором.

Гипотеза 2. Совет с математическим обоснованием действует на человека сильнее, чем короткое указание без объяснений.

Гипотеза 3. Заведомо ложный совет алгоритма снижает долю верных решений.

Новизна работы состоит в том, что вместо классической задачи с тремя дверями мы использовали её расширенный вариант с десятью дверями и сравнили сразу четыре формы поведения алгоритма на одной и той же выборке. Практическая значимость работы связана с проектированием цифровых помощников: результаты показывают, на что именно реагирует пользователь, получая совет от программы.

1. Теоретическая часть

1.1. Парадокс Монти Холла и его обобщение на N дверей

Задача была впервые сформулирована американским статистиком С. Селвином в письме в журнал *The American Statistician* в 1975 году [7, с. 67]. Условие такое. Перед игроком три закрытые двери. За одной из них спрятан приз, за двумя другими пусто. Игрок указывает на одну дверь. Ведущий, который знает расположение приза, открывает одну из двух оставшихся дверей — обязательно пустую. После этого игроку предлагают либо остаться при своём выборе, либо переключиться на последнюю закрытую дверь.

Большинству людей кажется, что после открытия пустой двери остаются два равноправных варианта, а значит, менять выбор бессмысленно. Это рассуждение неверно. Ключевое обстоятельство состоит в том, что ведущий действует не случайно: он знает, где приз, и никогда его не откроет. Тем самым он передаёт игроку дополнительную информацию.

Разберём обобщённый случай, который и использовался в нашем эксперименте. Пусть дверей N , приз спрятан за одной из них случайно и равновероятно. Игрок выбирает одну дверь. Вероятность того, что он сразу угадал, равна $P(\text{выбранная дверь}) = 1/N$.

Соответственно, вероятность того, что приз находится за какой-то из остальных дверей, равна

$$P(\text{остальные двери}) = 1 - 1/N = (N - 1)/N.$$

Теперь ведущий открывает $N - 2$ пустые двери из числа тех, которые игрок не выбирал. Закрытыми остаются ровно две: исходная дверь игрока и одна альтернативная. Важно, что действия ведущего никак не могли изменить вероятность первой двери: он выбирал, что открыть, среди других дверей и был обязан открывать только пустые. Поэтому за исходной дверью по-прежнему $1/N$, а вся оставшаяся вероятность $(N - 1)/N$ целиком сосредотачивается на единственной уцелевшей альтернативной двери:

$$P(\text{альтернативная дверь}) = (N - 1)/N.$$

Для классического случая $N = 3$ получаем $1/3$ против $2/3$. Для нашего эксперимента с $N = 10$ ведущий открывает восемь пустых дверей, и соотношение становится гораздо нагляднее: $1/10$ против $9/10$, то есть 10% против 90%. Смена двери увеличивает шансы на выигрыш ровно в девять раз. Строгое обоснование подобных рас-

суждений опирается на формулу полной вероятности и теорему Байеса [1].

1.2. Почему интуиция человека ошибается

Массовые опросы показывают, что в классической задаче с тремя дверями меняют выбор лишь около 13% участников, тогда как математически верной является именно смена [5, с. 711]. Причин у такой устойчивой ошибки несколько.

Первая причина — иллюзия равных шансов. Увидев две закрытые двери, человек автоматически приписывает каждой по 50%. Мозг подменяет сложный вопрос «как перераспределилась вероятность после действий ведущего» простым вопросом «сколько дверей осталось». Такая подмена трудного вопроса лёгким — типичный пример эвристики, то есть упрощённого способа рассуждать, описанного А. Тверски и Д. Канеманом [8, с. 1124]. Подробный разбор подобных механизмов мышления приведён в книге Д. Канемана [3].

Вторая причина — игнорирование источника информации. Человек не учитывает, что ведущий открывал двери не наугад. Если бы двери открывались случайно и иногда за ними оказывался бы приз, шансы действительно уравнились бы. Но правила игры другие, а интуиция этой разницы не замечает.

Третья причина — стремление сохранить первоначальный выбор. Люди острее переживают ошибку, совершённую в результате активного действия, чем такую же ошибку из-за бездействия. Поменять дверь и проиграть психологически тяжелее, чем остаться и проиграть, поэтому участники предпочитают ничего не менять [5, с. 711].

Отдельно отметим важное для нашей работы обстоятельство: чем больше дверей в задаче, тем очевиднее становится верный ответ. При десяти дверях человек видит, что ведущий целенаправленно оставил закрытой одну единственную дверь из девяти, и это наводит на правильную мысль гораздо чаще, чем в задаче с тремя дверями.

1.3. Человек и совет алгоритма

Психологи описали два противоположных явления. Первое — расположение к алгоритмам: в серии из шести экспериментов люди чаще следовали одному и тому же совету, если считали, что его дала программа, а не человек [6, с. 90]. Второе — алгоритмическое отторжение: увидев, что программа ошиблась хотя бы раз, человек теряет доверие к ней быстрее, чем к ошибившемуся человеку, и продолжает полагаться на собственное мнение даже тогда, когда алгоритм объективно точнее [4, с. 114].

Есть и третья особенность современных нейросетевых помощников — склонность соглашаться с собеседником. Модель, обученная на оценках людей, нередко подстраивается под мнение пользователя, вместо того чтобы возразить ему. Такое поведение называют угодливостью, или сикофантией. Для пользователя это опасно: уверенный тон машины сохраняется, а достоверность ответа падает.

Из этих работ следует, что реакция человека на совет алгоритма зависит не только от содержания совета, но и от того, как он подан. Проверить это на задаче с точно известным правильным ответом и стало целью нашего эксперимента.

2. Методика исследования
2.1. Экспериментальная установка

Для проведения эксперимента мы разработали веб-приложение на языках HTML, CSS и JavaScript. Приложение работает прямо в браузере телефона или компьютера и не требует установки; исходный код опубликован в открытом доступе [2].

Участник видит десять закрытых дверей и выбирает одну из них (рис. 1). После этого ведущий открывает восемь пустых дверей, и на экране остаются две закрытые: та, которую выбрал участник, и одна альтернативная. На этом шаге участник принимает окончательное решение, нажимая на одну из двух дверей. Кнопок «остаться» и «поменять» в интерфейсе нет специально: мы хотели, чтобы участник выбирал именно дверь, а не соглашался или спорил с формулировкой.



Рис. 1. Начальный экран: выбор одной двери из десяти

Всем группам, кроме контрольной, на этапе принятия окончательного решения показывалось сообщение от персонажа-ведущего, изображающего искусственный интеллект (рис. 2). Текст сообщения различался в зависимости от группы, и это было единственное различие между условиями эксперимента: сама игра, оформление и порядок действий оставались полностью одинаковыми.



Рис. 2. Экран принятия окончательного решения с советом ведущего (группа Г)

2.2. Четыре экспериментальных условия

Участники случайным образом распределялись по четырём группам. Группа А была контрольной: блок с советом у неё был полностью скрыт, поэтому мы измеряли «чистое» поведение человека без всякого вмешательства алгоритма. В группе Б алгоритм давал заведомо ложный совет, воспроизводящий типичное заблуждение о равных шансах. В группе В совет был директивным: алгоритм называл дверь, но не объяснял причину. В группе Г тот же совет сопровождался полным математическим обоснованием. Точные формулировки приведены в таблице 1.

Таблица 1. Условия эксперимента в четырёх группах

Группа	Что видел участник	Текст сообщения алгоритма
А	Только двери, блок с советом скрыт полностью	Сообщение не выводилось
Б	Сообщение и подсвеченная альтернативная дверь без пометки	«Мой алгоритм показывает, что шансы равны 50/50. Менять или оставлять дверь — математически не имеет значения»
В	Сообщение и альтернативная дверь с пометкой «Совет»	«Алгоритм рекомендует изменить выбор и открыть Дверь № N»
Г	Сообщение и альтернативная дверь с пометкой «Совет»	«Рекомендую сменить на Дверь № N. Математическое обоснование: шанс вашей Двери № M всего 10%, а суммарная вероятность (90%) отфильтрованных ведущим дверей перешла на Дверь № N»

Обратим внимание на важную деталь. Совет группы Б формально не указывает, что делать, — он утверждает, что выбор не имеет значения. Такой совет ложен: шансы равны не 50 на 50, а 10 на 90. Это позволило нам проверить, способен ли уверенный, но неверный ответ машины сбить человека с правильного пути.

2.3. Выборка и процедура

Эксперимент проводился в сети Интернет на краудсорсинговой платформе «Яндекс Задания». Такой способ сбора данных был выбран сознательно: он даёт большую и разнородную по возрасту и образованию выборку, тогда как опрос одноклассников ограничился бы несколькими десятками участников одного возраста.

Каждый исполнитель получал ссылку на приложение, проходил игру один раз и возвращал на платформу код завершения, который выдавался после финального экрана. Код служил подтверждением того, что игра действительно пройдена до конца. Повторное прохождение с одного устройства блокировалось: приложение сохраняло в памяти браузера отметку о завершённой попытке. Все результаты автоматически записывались в электронную таблицу.

Участники не знали ни о существовании других групп, ни об истинной цели исследования — задание было описано как короткая игра на поиск приза за дверь. Данные

полностью обезличены: сохранился лишь случайный номер сессии. Всего было собрано 506 завершённых прохождений: в группе А — 102 участника, в группе Б — 145, в группе В — 125, в группе Г — 134.

Полный набор собранных данных опубликован в открытом доступе вместе с исходным кодом приложения [2]. Он содержит по одной строке на каждого участника: номер группы, расположение приза, обе выбранные двери, признаки смены двери и выигрыша, а также время принятия решения. Благодаря этому любой желающий может самостоятельно повторить все приведённые ниже расчёты или проверить их.

2.4. Регистрируемые показатели и обработка данных

Для каждого участника автоматически сохранялись:

- 1) номер двери, выбранной изначально, и номер двери, выбранной в итоге;
- 2) признак смены двери — основной показатель, по которому мы судим о том, последовал ли человек верной стратегии;
- 3) признак выигрыша;
- 4) время в миллисекундах от появления совета до окончательного нажатия — косвенный показатель того, насколько вдумчиво человек принимал решение.

Для проверки того, случайны ли различия между группами, применялся критерий согласия хи-квадрат (χ^2) [1]. Различие считалось статистически значимым при уровне значимости $p < 0,05$, то есть когда вероятность получить такое расхождение случайно составляет менее пяти процентов.

3. Результаты эксперимента

3.1. Проверка корректности экспериментальной установки

Прежде чем сравнивать группы, мы убедились, что игра действительно устроена так, как задумано. Из 406 участников, сменивших дверь, приз получили 370 человек, то есть 91,1%. Из 100 участников, оставшихся при первоначальном выборе, выиграли лишь 10 человек — 10,0%. Теоретические значения для десяти дверей составляют 90% и 10% соответственно.

Совпадение практически полное. Это подтверждает, что приз размещался случайно, ведущий действительно открывал только пустые двери, а математическая модель задачи реализована верно. Одновременно это наглядная экспериментальная проверка самого парадокса Монти Холла на большой выборке.

3.2. Поведение контрольной группы

В группе А, где никаких советов не было, дверь сменили 77,5% участников. Этот результат оказался для нас неожиданным: в классической задаче с тремя дверями меняют выбор лишь около 13% людей [5, с. 711], то есть в шесть раз реже. Объяснение мы видим в числе дверей. Когда ведущий на глазах у участника открывает восемь пустых дверей подряд и оставляет закрытой ровно одну, его избирательность становится очевидной. Расширение задачи с трёх дверей до десяти само по себе работает как подсказка.

3.3. Влияние формы совета

Сводные результаты по всем четырём группам приведены в таблице 2, а доля сменивших дверь показана на рисунке 3.

Таблица 2. Результаты эксперимента по группам

Группа	Условие	Участников	Сменили дверь, чел.	Доля сменивших, %	Доля выигрышей, %	Медианное время, с
А	Без совета	102	79	77,5	74,5	6,6
Б	Ложный совет	145	102	70,3	69,0	9,8
В	Приказ	125	108	86,4	80,0	6,0
Г	Обоснование	134	117	87,3	77,6	8,3

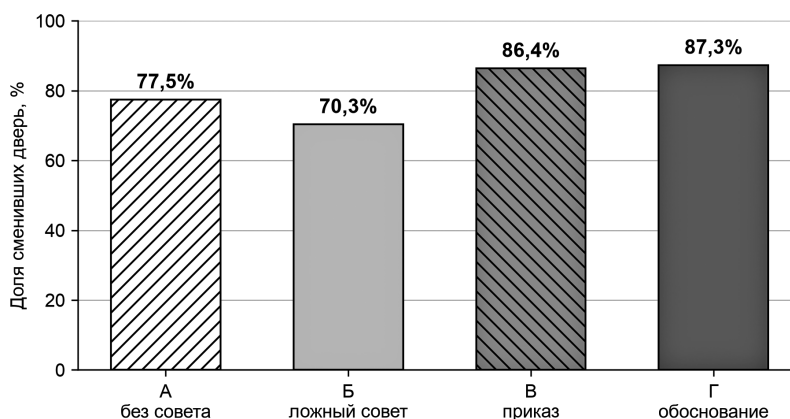


Рис. 3. Доля участников, сменивших дверь, по группам

Наибольшую долю верных решений дали группы с увещательным советом: 86,4% в группе В и 87,3% в группе Г против 77,5% в контрольной группе. Ложный совет в группе

Б, наоборот, снизил долю сменивших дверь до 70,3% — это худший результат из всех четырёх условий, хуже даже полного отсутствия подсказки.

Главное же наблюдение состоит в том, что группы В и Г различаются всего на 0,9 процентного пункта. Развёрнутое математическое обоснование с точными числами 10% и 90% действовало ровно так же, как короткая фраза без единого пояснения.

Доля выигрышей по группам (рис. 4) повторяет ту же картину, и это ожидаемо: выигрыш почти полностью определяется решением о смене двери, поэтому два показателя тесно связаны между собой. Штриховая линия на диаграмме показывает теоретический максимум в 90% — столь-

ко выигрывала бы группа, в которой дверь сменили все участники без исключения.

3.4. Статистическая значимость различий

Общее сравнение всех четырёх групп по критерию хи-квадрат дало значение $\chi^2 = 16,67$ при трёх степенях свободы. Критическое значение для уровня значимости 0,05 составляет 7,81, то есть различия между группами в целом статистически значимы и не могут быть объяснены случайностью. Результаты попарных сравнений приведены в таблице 3.

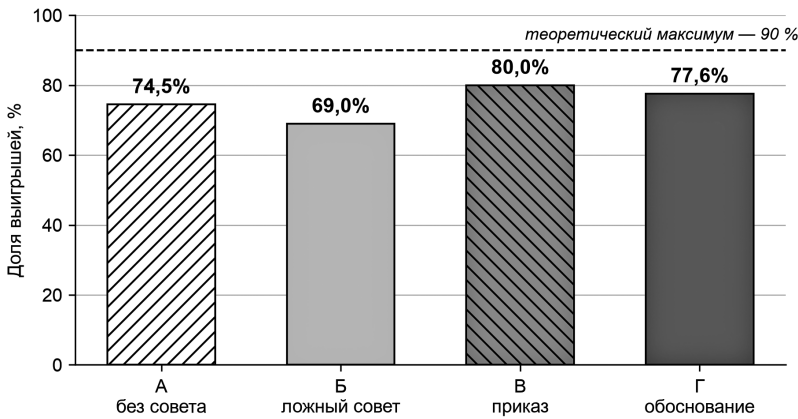


Рис. 4. Доля выигрышей по группам

Таблица 3. Попарное сравнение групп по доле сменивших дверь (критерий χ^2 , одна степень свободы)

Сравниваемые группы	χ^2	p	Вывод
А и Б (без совета / ложный)	1,54	0,214	различие не значимо
А и В (без совета / приказ)	3,10	0,078	различие на границе значимости
А и Г (без совета / обоснование)	4,00	0,045	различие значимо
В и Г (приказ / обоснование)	0,05	0,828	различий нет
Б и В (ложный / приказ)	10,01	0,002	различие значимо
Б и Г (ложный / обоснование)	11,88	< 0,001	различие значимо

Таблица 3 позволяет сделать три вывода. Во-первых, обоснованный совет достоверно изменил поведение участников по сравнению с контрольной группой ($p = 0,045$), а директивный приказ оказался на самой границе значимости ($p = 0,078$) — эффект того же направления, но чуть слабее. Во-вторых, различие между приказом и обоснованием отсутствует полностью: значение χ^2 близко к нулю,

а $p = 0,828$, что означает практически полное совпадение групп. В-третьих, ложный совет достоверно отличается от обоих верных советов ($p = 0,002$ и $p < 0,001$), то есть его влияние на людей вполне реально.

3.5. Время принятия решения

Дополнительную информацию даёт время, которое участники тратили на окончательное решение (рис. 5).

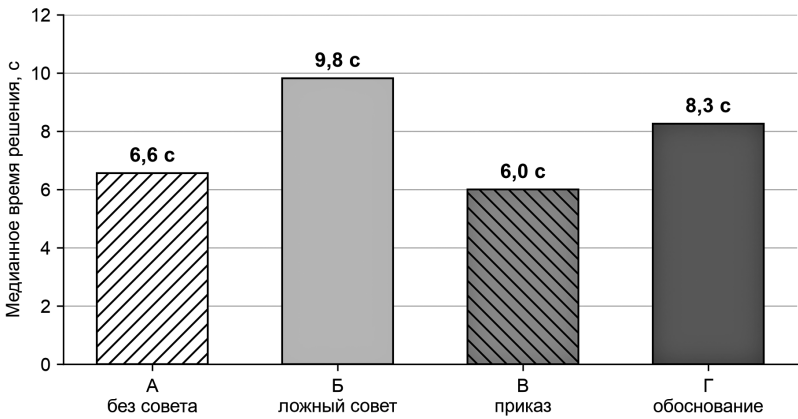


Рис. 5. Медианное время принятия решения по группам

Мы использовали медиану, а не среднее значение: несколько человек отвлеклись и думали по сорок и более секунд, что сильно исказило бы среднее.

Быстрее всех решала группа В — 6,0 с, даже быстрее контрольной группы (6,6 с). Короткий приказ не требует обдумывания: его достаточно прочитать и выполнить. Группа Г потратила 8,3 с — участники читали длинное объяснение с числами. Дольше всех, 9,8 с, думала группа Б, получившая ложный совет. Мы объясняем это тем, что утверждение «шансы равны 50/50» не подсказывает никакого действия, и человеку приходится решать самому, уже имея в голове навязанное сомнение.

4. Обсуждение результатов

Вернёмся к гипотезам, сформулированным во введении.

Гипотеза 1 подтвердилась частично. Уверенный совет алгоритма действительно повысил долю верных решений: с 77,5% в контрольной группе до 86,4% и 87,3% в группах В и Г. Однако прирост оказался умеренным, и для директивного приказа он не достиг формального порога значимости. Причина, на наш взгляд, в том, что контрольная группа изначально показала очень высокий результат: у алгоритма просто оставалось мало пространства для влияния. При десяти дверях человек и без подсказки часто догадывается, что дверь надо менять.

Гипотеза 2 не подтвердилась. Мы ожидали, что объяснение с числами убедит людей заметно сильнее, чем голое указание. Эксперимент этого не показал: разница между группами В и Г составила менее одного процентного пункта при $p = 0,828$. Это самый неожиданный результат работы. Похоже, что человек реагирует не на качество аргументации, а на сам факт того, что алгоритм уверенно назвал конкретный вариант. Косвенно это подтверждается данными о времени: группа В решала быстрее всех, то есть участники выполняли указание, по сути не раздумывая. Развёрнутое обоснование в группе Г люди читали дольше, но на итоговое решение это почти не повлияло.

Гипотеза 3 подтвердилась. Группа Б показала худший результат из всех — 70,3% против 77,5% в контрольной группе. Формально различие между Б и А не достигло уровня значимости ($p = 0,214$), однако различие между ложным советом и обоими верными советами значимо и велико. Вывод очевиден: уверенно поданная ошибка машины действительно уводит людей от правильного решения. Заметим, что алгоритм в группе Б никого ни к чему не принуждал — он лишь сказал, что выбор не имеет значения. Этого хватило, чтобы часть участников перестала утруждать себя рассуждениями.

Общая картина складывается такая. Влияние алгоритма на человека определяется в первую очередь уверенностью и определённой формулировкой, а не её доказательностью. Это тревожный вывод: он означает, что пользователь не проверяет логику машины, а доверяет её интонации. Если совет верен, всё хорошо. Если совет ошибочен, человек последует за ошибкой ровно с той же готовностью.

Необходимо честно указать и ограничения нашей работы. Во-первых, участники краудсорсинговой платформы заинтересованы в быстром выполнении заданий, поэтому часть из них могла следовать подсказке просто ради скорости, не вникая в суть. Во-вторых, каждый человек играл лишь один раз, и мы не можем судить, как менялось бы доверие к алгоритму при многократной игре — особенно после того, как участник увидел бы ошибку машины. В-третьих, мы не собирали сведения о возрасте и образовании участников, а эти признаки вполне могут влиять на доверие к технике. Наконец, роль искусственного интеллекта исполняла заранее написанная программа, а не настоящая нейросеть; для участника разница была незаметна, но при развитии работы этот момент стоит учесть.

Естественным продолжением исследования нам представляется серия из нескольких игр подряд, в которой алгоритм иногда ошибается. Это позволило бы проследить, как быстро разрушается доверие к машине и восстанавливается ли оно потом.

Заключение

В ходе работы мы разобрали математику расширенного парадокса Монти Холла, разработали веб-приложение для проведения эксперимента и собрали данные 506 участников, разделённых на четыре группы.

Получены следующие основные результаты.

- 1) Экспериментально подтверждена математическая модель задачи: смена двери принесла выигрыш в 91,1% случаев против 10,0% при сохранении первоначального выбора, что практически совпадает с теоретическими 90% и 10%.
- 2) Уверенный совет алгоритма повышает долю верных решений: 86,4% и 87,3% против 77,5% без подсказки.
- 3) Форма подачи верного совета почти не имеет значения: короткий приказ сработал так же, как развёрнутое математическое обоснование (различие 0,9 процентного пункта, $p = 0,828$).
- 4) Ложный совет алгоритма ухудшает результаты человека: 70,3% верных решений — меньше, чем при полном отсутствии подсказки.
- 5) При увеличении числа дверей с трёх до десяти люди гораздо чаще находят верную стратегию самостоятельно: 77,5% против примерно 13% в классической задаче.

Практический вывод работы адресован прежде всего разработчикам цифровых помощников. Раз человеку для смены решения достаточно уверенного указания и он не вникает в аргументацию, вся ответственность за правильность совета ложится на создателей системы. Объяснения в интерфейсе нужны, но полагаться на то, что пользователь их прочтает и проверит, нельзя. Особенно это важно там, где цена ошибки высока: в медицине, финансах, управлении транспортом.

Вывод, полезный и для самих пользователей, сформулируем короче: уверенный тон программы не является доказательством её правоты. Стоит хотя бы иногда проверять, на чём основан совет, который нам дают.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов / В. Е. Гмурман. — 9-е изд., стер. — Москва: Высшая школа, 2003. — 479 с. — Текст: непосредственный.
2. Доверие к алгоритму: экспериментальная среда и данные исследования: [сайт]. — URL: <https://github.com/artiom-gavrilov/game-lab-ai-bayes> (дата обращения: 28.08.2026). — Текст: электронный.
3. Канеман, Д. Думай медленно... решай быстро / Д. Канеман; перевод с английского. — Москва: АСТ, 2014. — 653 с. — Текст: непосредственный.
4. Dietvorst, B.J. Algorithm aversion: People erroneously avoid algorithms after seeing them err / B.J. Dietvorst, J.P. Simmons, C. Massey. — Текст: непосредственный // Journal of Experimental Psychology: General. — 2015. — Vol. 144, № 1. — P. 114–126.
5. Granberg, D. The Monty Hall dilemma / D. Granberg, T.A. Brown. — Текст: непосредственный // Personality and Social Psychology Bulletin. — 1995. — Vol. 21, № 7. — P. 711–723.
6. Logg, J.M. Algorithm appreciation: People prefer algorithmic to human judgment / J.M. Logg, J.A. Minson, D.A. Moore. — Текст: непосредственный // Organizational Behavior and Human Decision Processes. — 2019. — Vol. 151. — P. 90–103.
7. Selvin, S. A problem in probability (letter to the editor) / S. Selvin. — Текст: непосредственный // The American Statistician. — 1975. — Vol. 29, № 1. — P. 67.
8. Tversky, A. Judgment under uncertainty: Heuristics and biases / A. Tversky, D. Kahneman. — Текст: непосредственный // Science. — 1974. — Vol. 185, № 4157. — P. 1124–1131.

Киберпранки как способ рассказать о кибербезопасности

Марков Ярослав Алексеевич, учащийся 10-го класса

Университетский лицей № 1523 предвуниверситария НИЯУ МИФИ (г. Москва)

Научный руководитель: Троцкий Игорь Иванович, кандидат технических наук, доцент

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

В статье рассматривается опыт применения учебных киберпранков для повышения осведомленности об угрозах кибербезопасности в тематическом лагере. Определены требования к киберпранкам в части соблюдения этических норм и правил кибербезопасности. Дан пример классификации киберпранков как части ситуационного обучения. Приведен эксперимент. Сделан вывод о возможности применения учебных киберпранков для привлечения внимания и для освоения основ кибергигиены.

Ключевые слова: кибербезопасность, киберпранк, кибергигиена, принцип осведомленности, ситуационное обучение.

1 Введение

Идея исследования родилась в тематическом лагере в рамках проведения школьных занятий по основам кибергигиены и решения задач по кибербезопасности в игровой форме. Считается, что обучение в ситуациях, близких к реальным, значительно больше вызывает интерес и учит принимать решения в нестандартных ситуациях [1]. Напомним, что одним из главных принципов кибербезопасности считается *осведомленность* об опасностях или угрозах [2]. Поэтому в работе была поставлена задача проверить, можно ли с помощью простых и безобидных prankов напомнить ученикам о кибербезопасности [3]. Задумка состояла в том, чтобы ученик попал в небольшую ловушку, но, увидев мгновенное предупреждение о том, что его действия небезопасны, мог сделать правильные выводы. При этом киберпранки ничего общего не имеют с обидными prankами, которые могут пристыдить ученика [4], а также с такими вредоносными «розыгрышами», как переверот экрана, переназначение кнопок мыши и пр. [5].

2. Учебные киберпранки: определение и классификация

В рамках работы под prankом понимается шутка или безобидный прикол, который не только не навредит пользователю, но и даст реальный опыт, который в будущем может помочь. Тогда киберпранком можно назвать безопасную смешную ИТ-ловушку, которая мгновенно показывает человеку его ошибку. Важно, чтобы киберпранки были уместными, понятными и привязанными к содержанию опасной ситуации (угрозе), которую изучают. Разумеется, здесь нельзя собирать пароли и личные данные, вообще не допускаются какие-либо нарушения и вред. Если говорить строго, то киберпранк — это заранее согласованный безопасный сценарий, имитирующий киберугрозу (риск кибербезопасности) и сразу сообщающий ученику об этой угрозе и рекомендации безопасного поведения».

Примеры киберпранков по типу моделируемой угрозы следующие:

— QR-коды и адресные ссылки;

- съёмные носители;
- беспроводные точки доступа;
- файлы из неизвестных источников (например, с «расшаренных» ресурсов);
- раскрытые учетные данные и пр.

Одной из самых популярных угроз является почтовый фишинг, но эта тема постоянно изучается на школьных уроках [3], поэтому в работе она не рассматривается.

На грани могут быть провокации, например, написанные на листке паролей. Такой киберпранк обычно используется в киберсоревнованиях, когда участвуют конкурирующие команды, например: red team и blue team [6]. Обычно такой prank состоит в том, что, когда конкурирующая команда пытается воспользоваться добытым паролем, то видекамера (согласно правилам) фотографирует «злоумышленника», а сам факт нарушения отмечается снятием балла. Подобный киберпранк следует проводить внимательно и аккуратно, чтобы это не выглядело как нарушение правил обучения.

3. Методика и организация эксперимента

В рамках исследования, из-за ограниченности продолжительности смены и особенностей сети школьного лагеря, было принято решение ограничиться тремя пран-

ками, а именно: подкинуть флешку-приманку, открыть учебную Wi-Fi-сеть и разместить QR-код. Смысл был простой. Человек мог из любопытства открыть чужую флешку, подключиться к незнакомому Wi-Fi или перейти по неизвестному QR-коду. В реальной жизни такие действия могут быть опасными, поэтому автор хотел напомнить об этом на безопасном обучающем примере. Чтобы соблюсти законы, эксперимент был согласован, и все ссылки вели только на авторский учебный сайт с предупреждением об опасности и рекомендацией в следующий раз быть осторожнее.

Подготовка пранков была следующая:

На флешках были установлены ярлыки, которые при нажатии вели на страницу с предупреждением на сайте, который был сделан на WordPress. На веб-странице было написано, что чужая флешка может быть ловушкой, называемой атакой с приманкой (Road Apple или Baiting Attack) [7] и на ней могут быть опасные файлы. На предупреждающих веб-страницах были размещены соответствующие смешные картинки, которые были сгенерированы с помощью ИИ, чтобы не тратить много времени на оформление и больше заняться самими пранками (рис. 1).

ИТ-департамент против Ледяного безмолвия!



Привет! Вообще-то надо проявлять бдительность если берешь неизвестную флешку!
Это может быть кибератака **Baiting attack** или **road apple**!

Тебе повезло! Этот сайт создан для ознакомления с угрозами от Ледяного безмолвия (злых молчаливых зомби-снеговиков)!
Короче, будь бдителен! Используй непроверенные флешки только, спросив у водителя или специалиста по кибербезопасности ИТ-департамента!

Нас уже: **14**

Общий счётчик для всех посетителей

Рис. 1. Страница, которая открывалась после перехода с флешки

На указанной странице был сделан счётчик посещений. В WordPress это делается просто: «Внешний вид» → «Редактор тем» → functions.php, далее надо добавить код для «шорткода». Потом этот «шорткод» просто вставляется на нужную страницу. Так можно увидеть, сколько раз страницу открывали. На рис. 1 видно число подключений — 14.

Второй киберпранк был сделан с помощью маленького роутера TP-LINK. Он раздавал свою Wi-Fi сеть. Если бы кто-то к ней подключился, открылся бы мой сайт с предупреждением о том, что к незнакомым сетям лучше не подключаться (рис. 2). При этом использовалась технология captive portal.

Поддельная точка доступа (Rogue Access Point) имела произвольное имя и не собирала передаваемые данные [8]. Автор не стал имитировать аналогичное имя

сети, т. к. такой prank (атака Evil Twin) больше подходит для киберсоревнований.

Что касается QR-кодов, то они тоже вели на соответствующий сайт. На странице было написано, что по неизвестным QR-кодам лучше не переходить, потому что ссылка может оказаться опасной (рис. 3). Такой обман называют QR-фишинг (Quishing) [9].

5. Результаты эксперимента

Лучше всего сработал prank с флешками. Флешки были оставлены в разных рабочих зонах. Все флешки в итоге открыли и перешли по ссылкам. Все, кто это сделал, увидели предупреждение и теперь знают, что с чужими флешками нужно быть осторожнее. По наблюдению автора, эксперимент вызвал положительные эмоции у участников и остался в памяти.

С Wi-Fi-сетью ничего не получилось. К «фейковой» сети никто не подключился. Это можно объяснить тем, что в лагере везде на компьютерах уже был скоростной

интернет, и новая сеть никому не была нужна, возможно и имя сети не было интересным. В ином месте ситуация могла быть совершенно иной.

ИТ-департамент против Ледяного безмолвия!



Привет! Вообще-то надо проявлять бдительность при подключении к незнакомому Wi-Fi! Это может быть кибератака **Rogue Access Point!**
Тебе повезло! Этот сайт создан для ознакомления с угрозами от Ледяного безмолвия и злобных молчаливых зомби-снеговиков!
Короче, будь бдителен! Используй неизвестные сети только, спросив у вожатого или специалиста ИТ-департамента!

Рис. 2. Страница с предупреждением при подключении к незнакомой Wi-Fi-сети

ИТ-департамент против Ледяного безмолвия!



Привет! Вообще-то надо проявлять бдительность при переходе по незнакомому QR-коду! Это может быть кибератака **QUISHING!**
Тебе повезло! Этот сайт создан для ознакомления с угрозами от Ледяного безмолвия и злобных молчаливых зомби-снеговиков!
Короче, будь бдителен! Переходи по таким ссылкам только, спросив у вожатого или специалиста ИТ-департамента!

Рис. 3. Страница с предупреждением после перехода по QR-коду

От пранка с QR-кодами вообще пришлось отказаться. В день испытаний было сообщено, что свои QR-коды вешать нельзя, т. к. только что уже был зафиксирован инцидент с вредоносным QR-кодом. Поэтому было принято решение, что в тот момент киберпранк неуместен и запрещен.

6. Выводы

В работе был представлен эксперимент по применению киберпранков с целью ознакомления с угрозами кибербезопасности в рамках обучения в школьном лагере при проведении игр. Были рассмотрены три вида киберпранков, которые были, по мнению автора, уместны в школьной аудитории 7–11 классов.

Из трёх идей лучше всего сработала USB-флешка. Все 100% школьников открыли ссылку, представленную на флешках, и увидели предупреждение. Это говорит о том, что даже очень простой пранк может не только

привлечь внимание, но и многому научить в плане личной кибергигиены. С другой стороны, сценарий с фальшивой WiFi-точкой не сработал по причине отсутствия необходимости, что требует дальнейших исследований. Во избежание дополнительного риска также был отменен киберпранк с QR-кодом. Это косвенно продемонстрировало, что этические нормы и организационные ограничения приоритетнее полноты эксперимента.

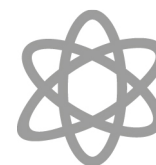
Указанное позволяет сделать вывод, что киберпранки могут применяться как интересный способ привлечения внимания к соблюдению правил кибербезопасности.

Принципиальным моментом является то, что киберпранк должен быть безобидным, не должен причинять вреда или собирать приватные данные. Пояснение в киберпранке должно быть мгновенным и позитивно поучительным. Важно, чтобы все техники киберучений были согласованы с их организаторами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Dewey J. Experience and Education. Kappa Delta Pi, 1938. 91 p.
2. Семь безопасных информационных технологий / А. В. Барабанов и др. — М.: ДМК пресс, 2017. — 224 с.
3. Безопасность в цифровом пространстве. 10–11 классы / Д. А. Заколдаев и др. — М.: Просвещение, 2026. — 2 изд. — 128 с.
4. Детский пранк: развлечение или неосознанное противоправное поведение? / Е. А. Конюкова. // Исследования молодых ученых: материалы XV Междунар. науч. конф. (г. Казань, декабрь 2020 г.). — Казань: Молодой ученый, 2020. — С. 104–107. — URL: <https://moluch.ru/conf/stud/archive/384/16194>.
5. Злой шутник CrystalX RAT — шпион и стилер с функциями prankware / Great. — Текст: электронный // SecureList by Kaspersky, 2026: [сайт]. — URL: <https://securelist.ru/crystalx-rat-with-prankware-features/115077/> (дата обращения: 20.08.2026).
6. Киберучения: методические рекомендации ENISA / А. А. Петренко, С. А. Петренко // Вопросы кибербезопасности. — 2015. — № 3 (11). — С. 2–14.
7. Социальная инженерия: «Дорожное яблоко» / Sicness. — Текст: электронный // Хабр, 2010: [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/articles/89109/> (дата обращения: 20.08.2026).
8. Rogue AP — фальшивые точки доступа / Л. Сафонов. — Текст: электронный // Хабр, 2016: [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/articles/277793/> (дата обращения: 20.08.2026).
9. Мошенники любят QR-коды: разбираем кейсы, изучаем устройство подделок и делаем выводы / Selectel. — Текст: электронный // Хабр, 2025: [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/companies/selectel/articles/882818/> (дата обращения: 20.08.2026).

ФИЗИКА



Создание тетради-практикума по физике «Электрические цепи»

Завгородняя Анастасия Евгеньевна, учащаяся 11-го класса

Научный руководитель: Андреева Юлия Вячеславовна, учитель физики

МБОУ «Средняя общеобразовательная школа № 15» г. Калуги

В статье автор описывает возможности применения тетради-практикума для знакомства с электрическими цепями в 8 классе и проведения лабораторных работ для учащихся с надомным или дистанционным обучением, а также возможности расширения количества практических работ и решения экспериментальных задач по теме «Электричество», также описан механизм создания тетради и перечень необходимого для этого материалов.

Ключевые слова: электрическая цепь, тетрадь-практикум, мультиметр.

Создание и наполнение тетради-практикума позволяют учащемуся 8 класса не только повторить теорию, но и провести реальный эксперимент с использованием современных материалов, закрепить навыки решения задач, познакомиться с работой мультиметра и при необходимости выполнить все лабораторные работы по курсу «Электричество» за 8 класс. Данная тетрадь позволит учащемуся с надомной или дистанционной формой обучения, познакомиться с работой электрических приборов, поупражняться в сборке электрических цепей и выполнить не только необходимый минимум лабораторных работ без использования большого количества оборудования, но и при желании увеличить количество экспериментальных задач для учащихся профильных 8 классов.

Для создания тетради-практикума «Электрические цепи» необходимо минимальное число материалов и инструментов. Все перечисленные ниже компоненты можно купить в обычных магазинах (канцелярских, хозяйственных, электроники) или заказать на маркетплейсах.

1. Тетрадь на разъемных кольцах (по желанию), можно заменить на папку-скоросшиватель или кольца для скрапбукинга — это основа, которая соберет отдельные листы-задания в тетрадь. Кольца позволяют раскрыть тетрадь полностью и хранить без деформации, чтобы токопроводящий скотч не перегибался и не отклеивался.

2. Плотная бумага. Обычные тонкие тетрадные листы не подходят, т. к. они рвутся от скотча и от частых прикосновений. Нужна бумага для рисования и черчения или картон для творчества плотностью 120–160 г/м². Продаётся в папках или отдельными листами.

3. Токопроводящий скотч. Это специальная липкая лента (чаще всего медная или алюминиевая), которая проводит электрический ток. Продаётся в магазинах для творчества, радиодеталей или на маркетплейсах.

4. Мультиметр. Измерительный прибор для проверки напряжения, силы тока и сопротивления, а также для поиска обрывов в цепи. Продаётся в магазинах электроники и радиотоваров.

5. Батарейка на 3 Вольта. Удобнее всего плоская литиевая батарейка-таблетка CR2032. Также подойдут две пальчиковые батарейки AA или AAA, соединённые последовательно. Продаются в любом хозяйственном магазине.

6. Маленькая лампочка накаливания, например, для карманного фонарика. Вместо неё можно купить низковольтный светодиод на 3 Вольта (обратить внимание на полярность при подключении).

7. Дополнительное оборудование: диоды для изучения односторонней проводимости, резисторы для изучения последовательного, параллельного и смешанного соединения, графитовые стержни для карандашей, для изучения проводимости разных материалов, зависимости сопротивления от длины проводника и площади поперечного сечения.



Рис. 1. Знакомство учащихся со структурой тетради-практикума

Для моделирования тетради-практикума и наполнения ее конкретными заданиями от простейших до заданий углубленного уровня и заданиями открытого типа, были разработаны следующие типы страниц:

1-й тип (лабораторный). Составлены простейшие электрические цепи, которые состоят из источника питания (батарейка), токопроводящего скотча (вместо проводов). Подготовленные схемы созданы с разрывами для возможного подключения светодиодов. В качестве электрического ключа используется угол страницы, позволяющий при сгибе замкнуть цепь. Вверху страницы находится перечень оборудования, которое пригодится для сборки цепи.

2-й тип (обучающий). Для сборки цепи отведено свободное место на странице, но уже нарисована схема для сборки. Ученик должен наклеить скотч в тетради, прикрепить батарейку/лампу.

3-й тип (открытый). Внепрограммные задачи, позволяющие изучать смешанное соединение проводников, моделировать схемы с привлечением дополнительного оборудования.

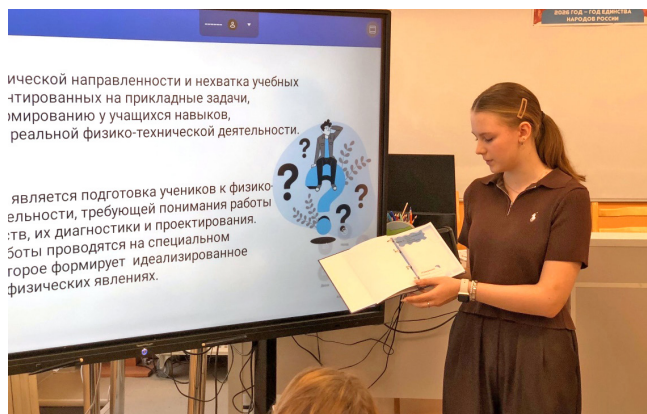


Рис. 2. Демонстрация страницы тетради-практикума с открытым типом задачи

После проведения эксперимента можно предложить учащимся расчетные задачи на основе полученных данных:

1. Определите мощность цепи при работе лампочки
 2. Найдите сопротивление лампы
 3. Вычислите работу тока за 10 мин работы лампы.
- Для отработки навыков работы с различными типами соединений были разработаны комплекты заданий по принципу «Схема + 3 задачи к ней», а также блок «Исследование свойств токопроводящего скотча + 3 задачи»
1. Цепь № 2 (Последовательное соединение):
 - Задача 1: Чему равно общее напряжение в цепи?
 - Задача 2: Рассчитайте мощность для каждой лампы и выясните, какая лампа светит ярче.
 - Задача 3: Найдите сопротивление всей цепи.
 2. Схема № 3 (Параллельное соединение):
 - Задача 1: Вычислите сила тока в цепи?
 - Задача 2: Найдите общую мощность цепи.
 - Задача 3: Сколько энергии расходует эта цепь за 15 мин?
 3. Схема № 4 (Смешанное соединение):
 - Задача 1: Найдите сопротивление лампы 1.
 - Задача 2: Найдите общее сопротивление параллельного блока.
 - Задача 3: Рассчитайте, какую работу совершит электрический ток в этой цепи за 2 минуты.
 4. Исследование свойств токопроводящего скотча:
 - Задача 1: Во сколько раз отличаются а) длины двух кусков скотча, в) их сопротивления? Сделай вывод.
 - Задача 2: Рассчитайте сопротивление 1 м такого скотча.
 - Задача 3: Если по куску скотча длиной 50 см будет протекать ток силой 0,25 А, какое напряжение будет на его концах?

Такая тетрадь-практикум не только может заменить достаточной большой комплект оборудования, но и даст возможность учащимся углубленного уровня не только решать экспериментальные задачи, но и поучаствовать в их создании.

Использование тетради-практикума апробировалось на занятиях в 8 курчатовском классе МБОУ «СОШ № 15» г. Калуги в 2025–2026 учебном году.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Белага В. В. Физика. 8 класс. Инженеры будущего. Учебник. Часть 1, часть 2. Углубленный. Просвещение. 2025.
2. Браверман Э. М. Развивающее обучение на занятиях по физике // Физика в школе. 1998. № 1. С. 23–28.

BLDC-двигатель и способы его применения

Козинкина Наталья Павловна, учащаяся 10-го класса
МАОУ СОШ №93 (г. Краснодар)

Научный руководитель: Козинкина Елена Геннадьевна, учитель физики (г. Краснодар)

Автор в статье разбирает принципы работы электродвигателя, его устройство, способы применения и актуальность в настоящее время.

Ключевые слова: электродвигатель, индукция, ток.

Введение
Мы живем в мире, который не стоит на месте, он развивается на наших глазах. Некоторые люди не могут представить свою жизнь без гаджетов. Однако мало кто знает, как на самом деле устроена техника, которой мы пользуемся каждый день. Мой проект связан с электродвигателями, их можно найти повсюду. Для режима вибрации в наших телефонах установлены электродвигатели, чтобы постирать одежду нам нужна стиральная машина, которая работает за счет электродвигателя, и самый экологичный автомобиль оснащен электродвигателем. Для него не нужно топливо, добыча которого приводит к истощению ресурсов и загрязнению окружающей среды, поэтому за таким типом двигателей стоит будущее машиностроения и не только.

Цель проекта: исследовать BLDC-двигатель, его устройство, отличия от других моделей, применение на практике.

Задачи проекта:

- Провести исследование, вследствие которого выяснить основной принцип работы.
- Изучить устройство двигателя и его характеристики.
- Сравнить BLDC-двигатель с другими моделями и выявить его преимущества среди других.
- Проанализировать, как подаваемое напряжение влияет на работу двигателя и на его показатели.

Теоретический материал

Для своего исследования я выбрала BLDC-двигатель, так как устройство его более простое. Однако главное отличие — наличие дополнительного контролера (драйвера), который обеспечивает своевременную подачу тока на обмотки. Не менее значительным условием стала его популярность и широкое применение.

Бесщеточный двигатель постоянного тока (BLDC, от англ. Brushless DC motor) — это разновидность электродвигателя постоянного тока, в конструкции которого отсутствуют щетки и коллектор. Вместо механического коммутатора здесь используется электронный блок управления, который контролирует подачу тока в обмотки статора. Такое техническое решение позволяет значительно уменьшить трение, повысить надежность и продлить срок службы двигателя [1].

Основные компоненты и принцип работы

Электродвигатель состоит из трех основных частей. Статор — данная часть двигателя неподвижна. В нем находятся катушки, на которые попеременно подается постоянный электрический ток. Ротор — вращающаяся часть, включает в себя постоянные магниты. Однако их компоненты могут меняться местами в зависимости двигателя. Важным элементом является контроллер [3]. BLDC-

двигатель не имеет щеток как в коллекторном двигателе. В коллекторном двигателе они выполняют роль переключателей, подавая в нужный момент ток на определенную обмотку. Однако именно скользящий контакт — самое уязвимое место двигателя. Именно из-за этого фактора в технике начал чаще встречаться бесколлекторный двигатель. Контроллер пришёл на смену щеткам, выполняя роль переключателя за счет микросхем [3].

В основе работы электродвигателя лежит явление магнитной индукции. Как мы знаем, при пропускании тока через проводник он создает магнитное поле вокруг. Данными проводниками в нашем двигателе служат катушки [4]. А также постоянные магниты имеют свое магнитное поле, за счет которого двигатель будет приводиться в действие. С помощью контроллера на катушки подается ток. Они создают уже свое магнитное поле, на которое реагирует магнит и начинает притягиваться. После катушки перестают получать ток и впоследствии они перестают создавать магнитное поле. Ток переходит к следующей катушке, и цикл повторяется. Таким образом, двигатель приводится в действие.

Отличия от щеточного двигателя от других моделей

Предшественником BLDC-двигателя является щеточный или коллекторный двигатель. Он был изобретен ранее, впоследствии стал прототипом для современного бесщеточного двигателя. Одним из главных его отличий является наличие щеток, они помогают без помощи какой-либо электроники подать ток на нужную обмотку в нужный промежуток времени. Происходит это механическим образом, однако это и является самой уязвимой частью двигателя. Так как щетки крутятся и трутся об контур, который впоследствии передает ток на обмотки, щетки при трении нагреваются и стираются. Поэтому за ними нужно следить и регулярно менять при необходимости.

В связи с данным фактором часть энергии уходит на нагревание и трение скользящих контактов, поэтому КПД у таких двигателей меньше. Также щетки нуждаются в регулярном уходе и при возможности замене, следовательно, двигатель уменьшает сроки своего действия. Также при трении создается довольно громкий звук, что является неоспоримым минусом при подборе двигателя для каких-либо целей. Однако из-за своего простого строения и отсутствия электроники это дает ему преимущество в цене.

Если говорить о бесщёточных двигателях, то у них есть целый ряд преимуществ: высокий КПД, стабильная работа, постоянность скоростей и напряжения на обмотках, минимальный шум. И все эти преимущества толь-

ко из-за замены щеток на контроллер, который следит за каждым движением двигателя и контролирует подачу тока на обмотки. Это значительно упрощает его в работе, но усложняет конструкцию и понимание процессов, происходящих внутри [5].

Влияние подаваемого напряжения на работу двигателя

Подаваемое напряжение регулируется с помощью переменного резистора (реостата). Точное значение выявить без дополнительных приборов не удастся. Поэтому в анализе не будут представлены точные значения напряжения.

Я рассмотрю несколько ситуаций: как влияет увеличение или уменьшение напряжения на переменный резистор, как влияет увеличение или уменьшение напряжения на двигатель.

По закону Ома прослеживается зависимость напряжения, сопротивления и силы тока в реостате:

$$I \uparrow = \frac{U \downarrow}{R \downarrow},$$

где I — сила тока, U — напряжение, R — сопротивление.

При подаче минимального возможного количества вольт, напряжение и сопротивление в резисторе уменьшается. Сила тока будет увеличиваться. Стоит заметить, в данном случае прослеживается нелинейная зависимость всех элементов формулы, все они меняются по-разному, сложно проследить четкую зависимость.

$$I \downarrow = \frac{U \downarrow}{R \downarrow}.$$

Напряжение, подаваемое на двигатель, так же уменьшилось, как и сила тока. Что касается сопротивления, оно не изменилось, так как это постоянная величина для двигателя. Двигатель, в свою очередь, снизил количество оборотов.

$$U \downarrow = \frac{A \downarrow}{I \downarrow \cdot t}, q = I \cdot t \cdot \eta = \frac{A_p \downarrow}{A_3 \downarrow},$$

где A — работа, q — количество электрического заряда, A_n — полезная работа, A_3 — затраченная работа, η — КПД, t — время.

При уменьшении напряжения понижается работа и сила тока нелинейно, а также затраченная и полезная работа снизят свои значения. Система больше не нуждается в затратах большого количества энергии, так как полезная работа уменьшается, однако КПД не изменяется.

$$P \downarrow = I \downarrow \cdot U \downarrow,$$

где P — мощность.

Мощность, напряжение и сопротивление уменьшились.

После я увеличила напряжение до максимума. Также в случае закона Ома мы рассмотрим 2 ситуации.

$$\downarrow I = \frac{U \uparrow}{R \uparrow}.$$

Рассмотрим, что происходит с показателями при увеличении напряжения.

При увеличении напряжения сопротивление увеличивается, так как переменный резистор был поставлен на минимальное значение. Однако сила тока, наоборот, уменьшается. Здесь также не прослеживается линейная зависимость.

$$I \uparrow = \frac{U \uparrow}{R}.$$

Рассмотрим, что происходит с показателями двигателя при увеличении напряжения. Сопротивление не изменяется, так же, как и в случае с уменьшением напряжения. Напряжение увеличилось, а вместе с ним и сила тока. В этом случае можно проследить линейную зависимость параметров.

$$U \uparrow = \frac{A \uparrow}{I \uparrow \cdot t} \eta = \frac{A_n \uparrow}{A_3 \uparrow}.$$

С повышением напряжения растет работа и сила тока, а значит, полезная работа и затраченная работа тоже повысилась, однако КПД не повысился, он остался прежним. Система стала производить больше полезной энергии, а значит, и стала затрачивать больше.

$$P \uparrow = U \uparrow \cdot I \uparrow.$$

Мощность повысилась, так как повысилось напряжение, сила тока осталась неизменной.

$$\eta = \frac{A_n - Q}{A_3}.$$

где Q — количество теплоты

Однако если КПД начинает изменяться (уменьшаться или увеличиваться), оно перестаёт быть константой, это означает, что двигатель начал нагреваться. Также, если не учесть особенности двигателя и подключить к нему слишком сильный источник напряжения, — это также может вызвать перегрев двигателя, что может привести к выходу его из строя [6].

Заключение

В результате работы над проектом:

- Я узнала, основной принцип работы электродвигателя, а также изучила его строение, разобралась в видах и таким образом выбрала наиболее интересный двигатель для своего проекта.
- Выяснила, как влияет подаваемое напряжение на работу двигателя и на его показатели, подробно рассмотрела на формулах их зависимости, а также выяснила признаки выхода из строя двигателя при повышенном напряжении.
- Смогла создать модель двигателя и довести до рабочего вида. Выяснила наиболее частые ошибки при создании двигателя и изучила, как они могут влиять на двигатель. Выяснила некоторые способы, которые помогут улучшить работу двигателя.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — М.: Издательский центр «Академия», 2007 г.

2. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. — М.: «Академия», 2006 г.
3. Кенио Т., Нагамори С. Двигатели постоянного тока с постоянными магнитами. — М.: Энергоатомиздат, 1989 г.
4. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://znanierussia.ru/articles/Магнитная_индукция
5. Коваленко И. И. Курс физики: учебное пособие. Электричество и магнетизм СПб.: ГУАП 2020
6. Уравнения Максвелла // Большая российская энциклопедия. — М.: Большая российская энциклопедия, 2004–2017.

Исследование аэродинамики гоночного автомобиля

Логинова Диана Дмитриевна, учащаяся 10-го класса

МАОУ СОШ № 93 г. Краснодара

Научный руководитель: Козинкина Елена Геннадьевна, учитель физики (г. Краснодар)

Автор в статье разбирает основы аэродинамики, фокусируясь на гоночных болидах.

Ключевые слова: аэродинамика, воздух, сила, скорость, поток

1 Законы движения воздуха
В аэродинамике для простоты описания тех или иных процессов рассматривается установившийся воздушный поток [1]. Это такой поток, в котором давление, температура и плотность воздуха с течением времени остаются неизменными. Два основных понятия — это ламинарный и турбулентный воздушные потоки (Рис. 1).

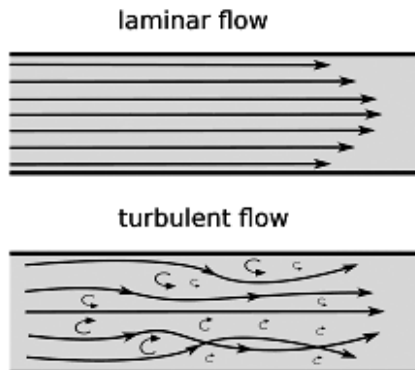


Рис. 1

При ламинарном течении воздушный поток движется в одном направлении и струйки воздуха параллельны друг другу. То есть условно это равномерное прямолинейное движение воздуха. По мере увеличения скорости, в этом потоке начинают появляться вертикальные, то есть перпендикулярные к направлению движения, перемещения. Начинают появляться завихрения и в какой-то момент ламинарный поток переходит в турбулентный, где воздух движется хаотично. Место, где ламинарный поток переходит в турбулентный, называется точкой перехода. (Рис. 2)

Следующее важное понятие — пограничный слой. Это слой воздуха на границе с обтекаемым телом, его толщина составляет несколько мм. В этом слое происходит изменение скорости воздушного потока, в точке соприкосновения с обтекаемым телом воздушный поток тормозится и скорость движения молекул на границе равна нулю.

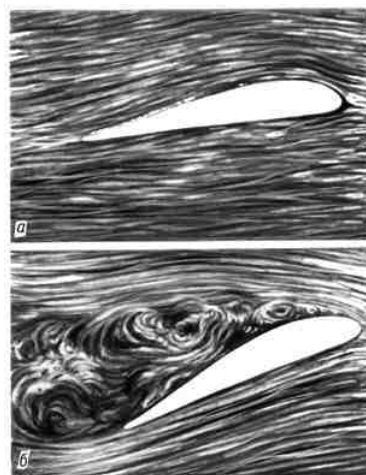


Рис. 2

И по мере удаления от поверхности тела скорость воздуха возрастает до максимальной. Именно в этом слое и происходит переход от ламинарного потока к турбулентному. При установившемся ламинарном течении пограничного слоя, появляются силы только внутреннего трения, поэтому в нем сопротивление воздуха совсем мало. В турбулентном пограничном слое требуется большее количество энергии для поддержания хаотичного движения, соответственно трение больше и скорость тела меньше. Если мы рассматриваем профиль крыла, задача авиаконструкторов состоит в том, чтобы отодвинуть точку перехода в пограничном слое как можно дальше от кромки. Чтобы как можно большая часть крыла обтекалась ламинарным потоком.

2. Закон Бернулли. Образование прижимной силы. Угол атаки

Закон Бернулли рассматривает непрерывный установившийся поток воздуха или газа в трубе, где за единицу времени проходит одинаковое количество воздуха [2]. Но чтобы понять данный закон, необходимо ввести новое понятие: статическое давление. Статическое давление — давление неподвижного воздуха на тело, одинаковое со всех сторон ($P_{\text{стат}}$). Теперь рассмотрим вариант, когда

воздух находится в движении, которые и находится в трубе. Динамическое давление — давление движущегося воздуха на тело ($P_{\text{дин}}$). Теперь, возвращаясь к эксперименту, установим связь между статическим и динамическим давлениями. В движущемся потоке воздуха, также есть статическое давление, и оно действует перпендикулярно на стенки трубы, в свою очередь динамическое давление направлено в сторону движения воздушного потока. Динамическое давление равно кинетической энергии движения воздушного потока, и выглядит следующим образом

$$P_{\text{дин}} = \rho \frac{v^2}{2}, \text{ где } \rho \text{ — это массовая плотность воздуха. За-}$$

кон Бернулли гласит, что в любом сечении воздушного потока сумма статического и динамического давлений есть величина постоянная.

Рассмотрим его конкретное использование в гоночных болидах на примере переднего антикрыла. Переднее антикрыло болида — это перевернутое крыло самолета. Профиль антикрыла сделан таким, что воздух по его верхней поверхности проходит короткий путь, а по нижней — длинный. Соответственно, чтобы встретиться у хвостовой части в одно время, по верхней часть воздух будет проходить медленнее, то есть его скорость будет меньше, чем на нижней части. Так как в верхней части скорость ниже, динамическое давление меньше, а значит статическое давление в свою очередь больше. В нижней части наоборот, от чего и создается разница давлений, она толкает крыло, а с ним и весь болид вниз. Это и есть прижимная сила (downforce).

Хорда профиля — отрезок прямой, соединяющий две наиболее удаленные точки на профиле [3]. Через каждую точку крыла можно провести одну хорду. Теперь введем понятие угол атаки — угол, заключенный между линией хорды крыла и вектором набегающего потока воздуха. При изменении угла атаки меняется характер обтекания крыла, также прижимная сила и сила лобового сопротивления. Чем больше угол атаки, тем больше прижимной силы и аэродинамического сопротивления, то есть скорость меньше. Противоположная ситуация с меньшим углом атаки. Существует физическая точка, концентрация давления на крыло, это точка приложения полной аэродинамической силы, она называется центр давления. И именно из нее растут два вектора, вектор прижимной силы и вектор лобового сопротивления [4]. Через нее проходит вектор равнодействующей этих двух сил. Вектор прижимной силы всегда перпендикулярен набегающему потоку, а вектор лобового сопротивления всегда совпадает с направлением воздушного потока (Рис. 3).

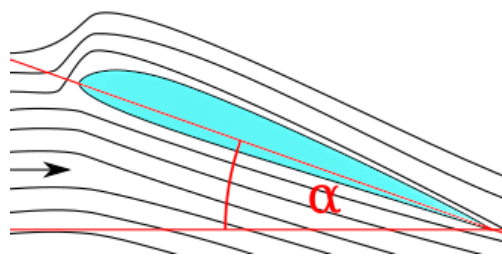


Рис. 3. Угол атаки

3. Основные аэродинамические элементы болида

Передние и задние антикрылья. Переднее антикрыло — первая часть болида, которая встречает воздушный поток. Далее воздух распределяется по всей плоскости болида. Передние антикрылья на болиде обеспечивают около 25% всей прижимной силы [5]. Заднее антикрыло состоит из нескольких элементов. Угол наклона этих элементов создает прижимную силу различной величины.

Диффузор. Конструкция днища или диффузор (приложение № 8) отвечает за то, как воздух, находящийся под болидом, его покидает. Обычно конструкторы усложняют форму большим количеством сложных углов, потому что чем быстрее воздух уходит, тем большую прижимную силу имеет болид и тем большей скоростью он обладает. На самом деле принцип действия диффузора прямо противоположен принципу действия антикрыла: вместо того, чтобы отталкивать воздух, диффузор засасывает его. Эффект этот получается из-за аэродинамической формы. Диффузор находится в самой нижней, «хвостовой» части болида, прямо под задним антикрылом, и объем диффузора увеличивается по мере приближения его к «концу» болида. Воздух, попадающий в диффузор из-под дна болида, разрезается, за счет попадания его в увеличенный объем диффузора, отсюда и эффект засасывания.

Боковые дефлекторы. Боковые дефлекторы разделяют и направляют воздух от передних колес на две части — одна направляется на охлаждение двигателя в воздухозаборники, вторая направляется наружу. Таким образом, с помощью боковых дефлекторов достигается две цели: снижение лобового сопротивления и более эффективное охлаждение.

Воздухозаборник. Воздух, необходимый для работы двигателя, забирается из отверстия прямо над шлемом pilota. На размер этого отверстия ограничений нет, но при чрезмерно большом отверстии сильно возрастает тормозящий эффект.

Готовый болид с потоками ветра (Рис. 4 и 5).

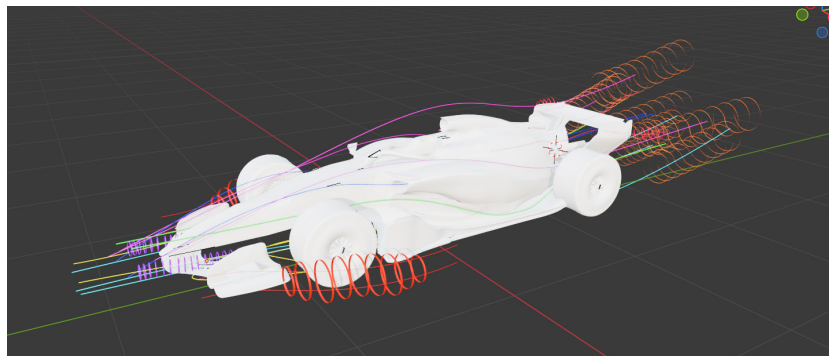


Рис. 4

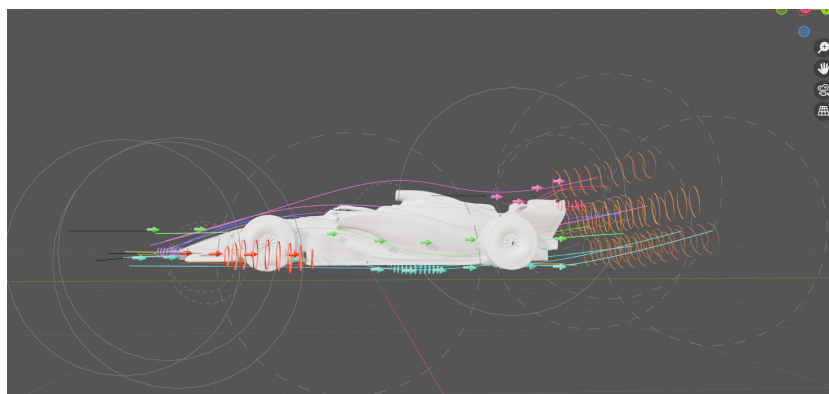


Рис. 5

ЛИТЕРАТУРА:

1. Основы аэродинамики / С.М. Егев, А.М. Матвеев, Шаталов И.А. // МАИ [Электронный ресурс]. — URL: https://oat.mai.ru/book/glava05/5_1/5_1.html
2. Аэродинамика для всех — Часть 1 Начало видеокурса [видеоресурс]: https://vkvideo.ru/video-91808293_456239518
3. Аэродинамика для всех — Часть 2 Закон Бернулли, Угол атаки [видеоресурс]: https://vkvideo.ru/video-91808293_456239519
4. Аэродинамика для всех — Часть 4 Аэродинамические характеристики, Поляра [видеоресурс]: https://vkvideo.ru/video-91808293_456239521
5. Монсе Ж.-Л. Большая книга о Формуле 1. 80 лет шума и ярости / Жан-Луи Монсе, Ален Перно, Джонни Ривз. — Москва: Эксмо, 2024. — 288 с.

Hypersonic re-entry. Radio blackout phenomena

Loginova Diana Dmitrievna, 10th grade student
MAOU Secondary School No. 93, Krasnodar

Scientific supervisor: Elena Gennadievna Kozinkina, physics teacher (Krasnodar)

Author investigates the phenomenon of radio blackout during supersonic and hypersonic atmospheric reentry, examining both its physical origins and mitigation strategies.

Keywords: atmosphere, aircraft, heat, frequency, waves.

- 1** Reentry aerodynamics and thermodynamics basics
There are three phases of the capsule flight [1]:
1. Launch phase
 2. Mission phase
 3. Reentry phase

It starts from launch pad to the end of mission assigned to launch vehicle. From this phase Spacecraft will be attached to the Capsule which allows Spacecrafts linear moment in and out of capsule. At the end of launch phase begins the mission phase where the spacecraft fulfills its mission. In this phase Spacecraft will extend out of the capsule attached to it and perform its function during its operational life. After its useful life Spacecraft will retract inside the capsule. Spacecraft capsule will correct its attitude for the de-orbit and reduce its altitude to 160 km with specific inclination and by using the onboard thrusters. Fuel should be reserved for the de-orbit. With successful controlled de-orbit to desired altitude, Spacecraft will prepare for its reentry.

As an aircraft moves through the air, the air molecules near the aircraft are disturbed and move around the aircraft. Exactly

how the air re-acts to the aircraft depends upon the ratio of the speed of the aircraft to the speed of sound through the air. Because of the importance of this speed ratio, aerodynamicists have designated it with a special parameter called the Mach number in honor of Ernst Mach, a late 19th century physicist who studied gas dynamics.

And as a spacecraft re-enters the earth's atmosphere, it is traveling very much faster than the speed of sound. The aircraft is said to be hypersonic [2]. Typical low earth orbit re-entry speeds are near 17,500 mph and the Mach number M is nearly twenty-five, $M < 25$. And when speed is that high the shock wave is forming. Basically, air molecules are not having enough time to get out of a capsule's way. Airlines in the front are getting completely overlapped forming one thin line — *the bow shock*, where the pressure, temperature and density jump up abruptly [3]. And the aircraft collapses with it. But capsule carries enormous kinetic energy, as it slams into air molecules, it compresses the air. When you compress gas adiabatically, its temperature rises. A post-shock temperature behind the bow shock can reach 11000 K — hotter than the

surface of the sun. This heat comes directly from converting the vehicle's kinetic energy into thermal energy of the air via compression.

2. Plasma formation physics

The fundamental principle of plasma formation involves heating a substance to a sufficiently high temperature to ionize it, thereby freeing electrons from atoms or molecules to form free electrons and positively charged ions. The main steps of plasma formation are as follows:

1. Heating: The substance is heated to a sufficiently high temperature. High temperatures can be provided by electrical discharge, high-energy light, thermal energy, etc.

2. Ionization: The high temperature provides sufficient energy to the atoms or molecules of the substance, triggering ionization. In this process, electrons bound to atoms or molecules are freed, forming free electrons and positively charged ions.

3. Electrical Neutrality: In plasma, collisions and interactions between electrons, ions, and neutral atoms maintain overall electrical neutrality.

That is exactly what is happening around capsule — plasma forming. To be precise: the plasma forms as a thin, conformal layer hugging the vehicle's surface, like a sheath. On the nose (stagnation region) is the highest density, highest temperature plasma — this is where compression is most severe, so ionization peak here. On shoulders plasma sheath thickens as flow expands around the curved surface, but density drops somewhat as the gas has expanded and cooled slightly. Behind the capsule (wake point) plasma stops being a sheath and becomes a turbulent trail. Flow separates behind the blunt body, creating a recirculating, chaotic low-pressure wake full of ionized gas and often unburned ablation products. This is what we see as the visible fireball tail.

3. Electromagnetic waves and plasma interaction, radio blackout

Stations on Earth connect with space capsules via radio, however when plasma surround it radio waves are not able to pass through free electrons to get to the capsule. As the free electrons oscillate back and forth in response to the radio wave, their moving charges generate their own electric field. This newborn field acts as an exact opposite reaction. It perfectly cancels out the electric field of the incoming radio wave, effectively neutralizing it before it can travel deeper into the plasma layer [4].

Whether a radio wave can penetrate depends on a mathematical race between two frequencies. Plasma Frequency (w_p): The natural speed at which the plasma's electrons naturally shake back and forth based on electron density (n_e).

$$w_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{n_e e^2}{\epsilon_0 m_e}}, \text{ where } \epsilon_0 \text{ is vacuum permittivity [5].}$$

Radio Wave Frequency (ω): The frequency of the signal sent by the spacecraft. When $w_p > \omega$ (Blackout): The radio wave is too slow. The electrons have plenty of time to move, rearrange, and completely reflect or absorb the signal back the way it came.

However, when $w_p < \omega$ (Transmission): The radio wave vibrates faster than the electrons can physically react. The electrons cannot move fast enough to block it, allowing the signal to pass straight through the plasma.

4. Parameters that influence blackout severity and density

Propagation of radio signals is strongly dependent on ionospheric electron density, which determines whether a transmitted signal will be absorbed in the D-region ionosphere, be reflected in the E or F-region ionosphere back toward the ground, or be transmitted entirely through the ionosphere [6].

The primary phenomena affecting high frequency communication (HF COM) are absorption and post-storm MUF depression (PSD).

HF signals are subject to absorption in the D-region ionosphere due to the interaction of radio waves with ionospheric particles. Energy from the radio waves is transferred to charged particles in the ionosphere and can be lost through collisions with neutral particles before being reradiated. The D-region ionosphere has a high neutral particle density compared to the upper E and F-regions of the ionosphere. This higher neutral particle density results in an increased rate of particle collisions, causing radio waves to be dispersed or absorbed, as heat, thereby reducing signal strength. Enhancements in the D-region electron density, often caused by space weather, lead to increased absorption. There are three primary types of absorption affecting HF COM: shortwave fadeout, auroral absorption, and polar cap absorption.

1. Solar X-ray flares are a sudden brightening of the solar photosphere accompanied by an emission of electromagnetic radiation. The enhanced radiation increases photoionization on the sunlit side of the Earth, enhancing the electron density. A direct result is the increased absorption of shortwave radio signals, commonly referred to as shortwave fadeouts. Shortwave fadeout is characterized by a sudden reduction in the signal strength followed by a more gradual recovery and closely follows the timescales of the solar flare radiation.

2. The D-region ionosphere is sensitive to the precipitation of high energy (>30 keV) magnetospheric electrons driven by the solar wind-magnetosphere — ionosphere interaction. This energetic electron precipitation can be intensified during space weather events leading to enhanced ionization in the ionosphere at auroral latitudes, causing a phenomenon known as auroral absorption.

3. Solar energetic protons expelled at the same time as a solar flare or coronal mass ejection (CME) can be accelerated to near relativistic speeds, reaching the Earth within a few hours. The solar energetic protons penetrate down to D-region altitudes in the high-latitude region reaching as equatorward as 60–65° MLAT causing polar cap absorption (PCA). This form of absorption is more strongly felt in the high-latitude sunlit ionosphere leading to a solar zenith angle dependence on the level of absorption, with strongest impacts near local noon falling off toward the terminator.

Post storm maximum usable frequency depression (PSD)

The upper limit of the HF frequency window, described by the MUF, is dependent on the F region electron density profile. After the onset of a geomagnetic storm, F-region electron densities can reduce below quiet-time values (negative storm effect). Negative storm effects can last for several tens of hours and can cause difficulties for HF radio links operating at higher frequencies. Geomagnetic storms can also cause F region electron density enhancements (positive storm effect). Positive storm effects are not detrimental to HF systems.

5. Mitigation technics

Since some years ago, numerous techniques were in development to resolve the RF blackout cutoff difficulty to during earth's atmospheric re-entry [7]. The recommended approaches are as follows:

- Aerodynamic shaping method known as remote antenna assemblies
- Raman scattering process (electromagnetic pump wave with high frequency)
- Injection of quenchants (liquid/gas injection)
- SMF windows (interaction of electromagnetic field in the plasma sheath)
- Using space probe transceiver with upper frequency carrier

REFERENCES:

1. https://www.researchgate.net/publication/299409954_Aerodynamics_and_thermal_features_of_reentry_spacecraft_with_blunt_body_capsule
2. <https://www.grc.nasa.gov/www/BGH/hihyper.html>
3. <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/VirtualAero/BottleRocket/airplane/shock.html>
4. <https://www.colorado.edu/lab/ngpdl/research/hypersonics/radio-communications-blackout>
5. <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/2.3678>
6. https://www.swsc-journal.org/articles/swsc/full_html/2022/01/swsc220003/swsc220003.html
7. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19700008892/downloads/19700008892.pdf>



ХИМИЯ

Синтез и стабилизация метастабильного оксида висмута как перспективного фотокатализатора в условиях учебных лабораторий

Коровович Игорь Георгиевич, учащийся 11-го класса

Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет РАН,
Академический лицей «Физико-техническая школа» имени Ж. И. Алфёрова

Научный руководитель: Байгозин Денис Владиславович, преподаватель

Национальный исследовательский университет ИТМО (г. Санкт-Петербург)

В работе рассмотрены две упрощенные методики синтеза фотокаталитически активных форм оксида висмута (Bi_2O_3). Первая методика основана на термическом разложении карбоната висмута ($\text{BiO})_2\text{CO}_3$, вторая — на совместном осаждении оксалатов висмута и церия с последующим прокаливанием. Полученные образцы охарактеризованы визуально (цвет, морфология) и по фотокаталитической активности в реакции разложения метиленового синего под УФ-излучением. Показано, что обе методики позволяют получить фотокаталитически активные продукты, при этом эффективность разложения красителя достигает 58% за 20 минут облучения. Главным преимуществом предложенных методик является отсутствие необходимости в сложном оборудовании (автоклавы, системы контроля pH), что делает их доступными для использования в школьных научных проектах.

Ключевые слова: $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$, фотокатализ, метастабильная фаза, оксид висмута, школьная лаборатория, упрощенные методики синтеза

В последние десятилетия активно ведутся поиски эффективных фотокатализаторов для разложения органических загрязнителей в воде и получения водорода. Особый интерес представляют материалы, способные работать под действием видимого света. Оксид висмута (III) (Bi_2O_3) привлекает внимание исследователей благодаря своей узкой ширине запрещенной зоны (2.0–2.8 эВ) и высокой химической стабильности. [3,4,5,6]

Среди нескольких полиморфных модификаций оксида висмута наибольший интерес для фотокатализа представляет метастабильная кубическая (тетрагональная) фаза $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$, которая имеет более узкую запрещенную зону (~2.4 эВ) по сравнению со стабильной моноклинной α -фазой (~2.8 эВ). Однако ключевой проблемой, ограничивающей его применение, является термодинамическая нестабильность β -фазы: при охлаждении или длительном хранении $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ склонен (склонна) к необратимому переходу в низкотемпературную α -фазу, обладающую меньшей фотокаталитической активностью.

В литературе описаны различные методы стабилизации $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$, включая введение допантов и создание композитов с другими оксидами [1,2]. Однако многие из этих методов требуют использования сложного оборудования, такого как автоклавы, или строгого контроля pH,

что затрудняет их воспроизведение в условиях школьной лаборатории.

Актуальность проблемы, теоретическая и практическая значимость определили цель и задачи исследования.

Цель исследования — выбрать и адаптировать лабораторные методики получения стабильного $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ для их выполнения в условиях учебной лаборатории и оценить фотокаталитическую активность полученных продуктов. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести обзор литературы и выделить существующие подходы к синтезу фотокаталитически активных форм оксида висмута.

2. Адаптировать и упростить две методики синтеза, описанные в научной литературе, для их выполнения в школьной лаборатории (без использования автоклавов, сложного контроля pH и дорогостоящего оборудования).

3. Синтезировать целевые продукты: оксид висмута термическим разложением карбоната висмута; композит $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{CeO}_2$ методом совместного осаждения оксалатов.

4. Охарактеризовать полученные образцы визуально (цвет, изменение при хранении) и оценить их фотокаталитическую активность в реакции разложения метиленового синего под УФ-излучением.

5. Сравнить эффективность и стабильность двух полученных образцов и определить, какая методика является более предпочтительной для использования в школьных условиях

Материалы и методы исследования. В качестве основных подходов были выбраны: 1. стабилизация β - Bi_2O_3 остаточными карбонат-ионами на поверхности частиц при термическом разложении $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$ [1]; 2. введение CeO_2 в состав системы для подавления фазового перехода [2].

В работе применялись реактивы квалификации ЧДА: $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, Na_2CO_3 , $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$, HNO_3 (1M). Все экспериментальные процедуры проводились по двум выбранным и адаптированным методикам, описанным в источниках [1,2].

Методика 1. Синтез Bi_2O_3 из карбоната висмута.

К 50 мл 0.1 M раствора нитрата висмута (подкисленного 1M HNO_3) при перемешивании добавляли 50 мл 0.15 M раствора карбоната натрия. Выпадал плотный белый осадок карбоната висмута $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$. Осадок отфильтровывали, промывали дистиллированной водой и высушивали на воздухе. Затем осадок прокаливали в фарфоровом тигле при температуре 400 °C в течение 2 часов. Полученный порошок имел ярко-оранжевый цвет. Было получено два образца (карб1 и карб2), отличающихся незначительно условиями высушивания перед прокаливанием.

Методика 2. Синтез композита $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{CeO}_2$.

К 50 мл смеси 0.1 M растворов нитрата висмута и сульфата церия (мольное соотношение $\text{Bi}:\text{Ce} = 3:1$) при перемешивании добавляли по каплям 0.1 M раствор щавелевокислого калия до прекращения выпадения осадка. Выпадал белый творожистый осадок, предположительно смесь оксалатов висмута и церия. Осадок отфильтровывали, промывали и прокаливали при 500 °C в течение 2 часов.

Оценка фотокаталитической активности

Фотокаталитическую активность образцов исследовали в реакции разложения органического красителя (метиленового синего) под действием ультрафиолетового облучения. В качестве источника излучения использовали ультрафиолетовую лампу, эксперимент проводился в стеклянной посуде, содержащей навеску катализатора (0.01 г/л) и водный раствор красителя с начальной концентрацией 10 мг/л. Время облучения составляло 20 минут. После эксперимента при сравнении растворов с добавлением катализатора и без визуальной разницы не было обнаружено.

Эффективность разложения рассчитывали по формуле: Эффективность (%) = $((D_0 - D) / D_0) \times 100\%$, где D_0 — оптическая плотность исходного раствора, D — оптическая плотность после облучения.

Результаты и обсуждение

1. Визуальные наблюдения.

В ходе выполнения экспериментов были получены следующие результаты:

По методике 1: при сливании растворов нитрата висмута и карбоната натрия мгновенно образовался плотный белый осадок, что согласуется с литературными данными о синтезе $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$ [1, 5, 6]. После прокаливании цвет порошка изменился на ярко-оранжевый. Согласно

известным данным, оранжевый цвет характерен для тетрагональной фазы β - Bi_2O_3 , тогда как α - Bi_2O_3 имеет желтовато-зеленый оттенок. Было получено два образца (далее — Bi_2O_3 (карб1) и Bi_2O_3 (карб2))

По методике 2: при добавлении $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ щавелевокислого калия к смеси солей висмута и церия выпал белый творожистый осадок, предположительно являющийся смесью оксалатов. При дальнейшем прокаливании осадок приобрел желтый окрас, что свидетельствует о наличии целевых оксидов в смеси.

Тест на стабильность: Образец Bi_2O_3 (карб1), полученный по методике 1, был оставлен на длительное хранение в лабораторных условиях. Спустя несколько недель было визуально зафиксировано изменение цвета порошка с оранжевого на более светлый, желтоватый оттенок. Это может свидетельствовать о частичном протекании фазового перехода $\beta \rightarrow \alpha$, что подтверждает сложность стабилизации чистой фазы даже при использовании карбонатной методики.

Тот факт, что образец по методике 1 начал менять цвет, указывает на необходимость точного контроля температуры прокаливании и времени выдержки. Вероятно, для полного удаления карбонат-ионов требуется более высокая температура, но она же может инициировать фазовый переход. Методика 2 (с церием) потенциально более надежна с точки зрения долгосрочной стабильности, так как ионы церия, встраиваясь в решетку или располагаясь на границах зерен, могут блокировать смещение атомов, ведущее к перестройке решетки.

Фотокаталитические испытания: После успешного синтеза стабильной β -фазы была проведена тестовая реакция разложения модельного красителя (метиленового синего) под действием УФ. Изначальная оптическая плотность раствора метиленового синего — 0.275. Время под УФ излучением — 20 минут

Таблица 1. Результаты фотокаталитического тестирования

Образец	Оптическая плотность	Степень разложения, %
Без катализатора	0.256	6.9%
C Bi_2O_3 (карб1)	0.106	61.5%
C Bi_2O_3 (карб2)	0.166	39.6%
C $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{CeO}_2$	0.119	56.7%

Согласно закону Ламберта-Бугера-Бера, оптическая плотность (D) пропорциональна концентрации загрязнителя (C): $D = \epsilon \cdot l \cdot C$. Таким образом, изменение концентрации с катализаторами было много больше, чем без него. Уменьшение оптической плотности свидетельствует о разложении красителя.

Наиболее эффективным катализатором оказался образец Bi_2O_3 (карб1). Поскольку этот образец дал лучший результат под УФ-излучением, а также посветлел при хранении, можно предположить, что он состоит преимущественно из α -фазы. α - Bi_2O_3 имеет более широкую запрещенную зону (около 2,8 эВ), что ближе к энергии УФ-излучения по сравнению с β - Bi_2O_3 (2,4 эВ), что объясняет его более высокую активность в данных условиях.

Полученные результаты показывают, что все синтезированные образцы обладают фотокаталитической активностью, значительно превышающей скорость естественного разложения красителя. Наиболее эффективным оказался образец Bi_2O_3 (карб1), обеспечивший разложение 61.5% красителя за 20 минут. Это сравнимый результат с эффективностью коммерческих фотокатализаторов, что подтверждает перспективность использования предложенных методик.

Проиллюстрируем это на рисунке 1.



Рис. 1. Фото пробирок с растворами после УФ облучения, справа образец с Bi_2O_3 (карб1), слева — без катализатора

При этом образец $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{CeO}_2$ также показал высокую эффективность (56.7%), что говорит о потенциале

композитных систем. Важно отметить, что образец Bi_2O_3 (карб1) при хранении в лабораторных условиях в течение нескольких недель менял цвет с оранжевого на более светлый желтоватый, что может свидетельствовать о частичном фазовом переходе $\beta \rightarrow \alpha$. Этот факт указывает на необходимость дальнейшего изучения стабильности полученных образцов.

Заключение

В рамках исследования были успешно адаптированы и реализованы две лабораторные методики синтеза потенциального фотокатализатора на основе $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$. Установлено, что наиболее простым и быстрым является метод термического разложения карбоната висмута $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$, позволяющий получить продукт характерного оранжевого цвета. Однако визуальные изменения при хранении подтверждают проблему нестабильности данной фазы.

Главным преимуществом проделанной работы является значительное упрощение оригинальных методик. Обычно синтез допированных оксидов требует автоклавов или сложного контроля pH, тогда как предложенная методика соосаждения оксалатов доступна в любой химической лаборатории, а методика синтеза из карбоната висмута была значительно сокращена по времени, за счет более быстрого прокаливания и меньшего времени сушки осадка. Результатом работы является успешный синтез целевых продуктов по адаптированным методикам и сравнение их фотокаталитической активности. Предложенные подходы могут быть использованы в рамках проектной и исследовательской деятельности.

В продолжение данного исследования будет проведен рентгенофазовый анализ полученных образцов для точного определения фазового состава и сравнительное изучение стабильности различных модификаций оксида висмута.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Jiang H. Y. et al. Synthesis and photocatalytic properties of metastable $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ stabilized by surface-coordination effects // *Journal of Materials Chemistry A*. — 2015. — Т. 3. — № 9. — С. 5119–5125.
2. Yang X. et al. Hollow $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3/\text{CeO}_2$ heterostructure microsphere with controllable crystal phase for efficient photocatalysis // *Chemical Engineering Journal*. — 2020. — Т. 387. — С. 124100.
3. Schlesinger M. et al. Metastable $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ nanoparticles with potential for photocatalytic water purification using visible light irradiation // *ChemistryOpen*. — 2013. — Т. 2. — № 4. — С. 146–155.
4. Hakobyan K. et al. Visible-light-driven MADIX polymerisation via a reusable, low-cost, and non-toxic bismuth oxide photocatalyst // *Angewandte Chemie International Edition*. — 2019. — Т. 58. — № 6. — С. 1828–1832.
5. Lu H. et al. Enhanced photosensitization process induced by the p-n junction of $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{BiOCl}$ heterojunctions on the degradation of rhodamine B // *Applied Surface Science*. — 2014. — Т. 303. — С. 360–366.
6. Xie J. et al. Simple solid-state synthesis of $\text{BiOCl}/\text{Bi}_2\text{O}_3$ heterojunction and its excellent photocatalytic degradation of RhB // *Journal of Alloys and Compounds*. — 2019. — Т. 784. — С. 377–385.

Возможности цифровых технологий в школьном химическом эксперименте во время работы над проектом «Сравнительный анализ адсорбционной активности медицинских препаратов с использованием цифровой лаборатории Releon»

Лукьяненко Екатерина Николаевна, учащаяся 9-го класса

Научный руководитель: Замятина Елена Александровна, учитель химии и биологии;

Научный руководитель: Лукьяненко Алла Николаевна, кандидат физико-математических наук, учитель математики

МОУ «Ближнеигуменская СОШ» (Белгородская область)

В статье представлены результаты учебно-исследовательского проекта, посвященного изучению физико-химического явления адсорбции на примере трех распространенных медицинских энтеросорбентов: активированного угля, «Полисорба» и «Энтеросгеля». В работе использовалась цифровая лаборатория по химии Releon с датчиком оптической плотности, что позволило не только визуально, но и количественно оценить эффективность очистки модельного раствора (свекольный сок) от красящих пигментов.

Ключевые слова: адсорбция, адсорбенты, активированный уголь, Полисорб, Энтеросгель, фотоколориметрия, оптическая плотность, цифровая лаборатория Releon, детоксикация.

Химическая природа окружающего мира и организма человека неразрывно связана с процессами взаимодействия веществ. Одним из ключевых поверхностных явлений, имеющих огромное практическое значение, является адсорбция — процесс поглощения одного вещества (газа, пара или растворенного соединения) поверхностью другого (твердого тела или жидкости). Это явление лежит в основе множества природных и технологических процессов: от очистки воды и воздуха до работы биологических мембран живых клеток.

В медицине адсорбция нашла свое применение в виде энтеросорбции — метода детоксикации организма путем связывания и выведения токсических веществ из желудочно-кишечного тракта. Наиболее известными препаратами этой группы являются активированный уголь, «Полисорб МП» и «Энтеросгель». Однако, несмотря на широкую распространенность, вопрос об их сравнительной эффективности в условиях школьного эксперимента остается открытым.

Актуальность работы обусловлена необходимостью привлечения обучающихся к практическому изучению химических явлений с использованием современного цифрового оборудования, а также важностью формирования научно обоснованного подхода к выбору адсорбентов в повседневной жизни.

Цель исследования: экспериментально подтвердить существование явления адсорбции, сравнить адсорбционную активность трех медицинских препаратов (активированный уголь, «Полисорб», «Энтеросгель») с использованием датчика оптической плотности оборудования Releon и сделать вывод об эффективности их применения.

Гипотеза: адсорбенты с более развитой пористой структурой (активированный уголь) будут демонстрировать большую поглощающую способность по отношению к органическим красителям по сравнению с гелеобразными и кремнийсодержащими сорбентами.

1. Теоретические основы адсорбции

Адсорбция (от лат. ad — на, при и sorbeo — поглощаю) представляет собой самопроизвольное изменение концентрации вещества на поверхности раздела двух фаз [1]. Вещество, на поверхности которого происходит поглощение, называется адсорбентом, а поглощаемое вещество — адсорбатом. В зависимости от природы взаимодействия различают физическую адсорбцию (обусловленную силами Ван-дер-Ваальса) и хемосорбцию (сопровождающуюся химической реакцией) [2].

Ключевыми факторами, определяющими адсорбционную способность материала, являются его удельная поверхность и пористость. Например, площадь поверхности 1 грамма активированного угля может достигать 1500–2000 м², что обеспечивается за счет особой технологии активации — обработки древесного угля перегретым паром или химическими реагентами при высокой температуре без доступа кислорода [3].

В медицине адсорбенты применяются для выведения из организма экзогенных и эндогенных токсинов, продуктов неполного метаболизма, аллергенов и даже некоторых лекарственных препаратов. Помимо активированного угля, широкое распространение получили кремнийсодержащие сорбенты: «Полисорб» (коллоидный диоксид кремния) и «Энтеросгель» (полигидрат полиметилсилоксана), механизм действия которых основан не только на пористости, но и на электростатическом взаимодействии с заряженными молекулами токсинов [4].

Важно отметить, что адсорбция играет критическую роль не только в фармакологии. Историческим примером является создание Н. Д. Зелинским в 1915 году угольного противогаза, спасшего жизни миллионам солдат в годы Первой мировой войны [5]. Это подчеркивает универсальность явления и его междисциплинарное значение.

2. Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели был проведен модельный эксперимент, имитирующий взаимодействие

адсорбентов с раствором красителя. В качестве объекта адсорбции использовался 10% водный раствор свекольного сока, содержащий природные красящие пигменты (бетацианины).

В качестве адсорбентов выступали: активированный уголь (таблетированный, аптечный); «Полисорб МП» (порошок, действующее вещество — кремния диоксид коллоидный); «Энтеросгель» (паста для приготовления суспензии, действующее вещество — полиметилсилоксана полигидрат).

3. Методика эксперимента.

Приготовили 100 мл 10% раствора свекольного сока. В три конические колбы поместили по 10 мл приготовленного раствора. В каждую колбу добавили по 0,3 г исследуемого адсорбента (точное взвешивание проводилось на электронных весах). Смеси выдерживали в течение 2 суток при комнатной температуре для установления адсорбционного равновесия, периодически перемешивая.

Оценку эффективности адсорбции проводили двумя способами: визуально — по изменению интенсивности окраски растворов, инструментально — с помощью

мультидатчика оптической плотности и мутности цифровой лаборатории Releon Air. Измерения проводились в кювете с длиной оптического пути 10 мм. Регистрировался показатель оптической плотности (D), который прямо пропорционален концентрации окрашенного вещества в растворе.

4. Результаты и их обсуждение

В ходе эксперимента было зафиксировано заметное обесцвечивание всех трех образцов, однако степень изменения окраски различалась. Визуальная оценка показала, что наиболее прозрачным стал раствор с активированным углем, затем — с «Полисорбом», и наименее эффективным визуально выглядел раствор с «Энтеросгелем».

Инструментальные данные (табл. 1) полностью подтвердили визуальные наблюдения. Активированный уголь снизил оптическую плотность раствора до нулевых значений, что свидетельствует о практически полном извлечении красящих пигментов. «Полисорб» показал высокую, но не полную эффективность (снижение на 84,7%), а «Энтеросгель» продемонстрировал наименьшую активность (снижение на 55,3%).

Таблица 1. Сравнительный анализ значений оптической плотности растворов

Исследуемые растворы 1 мл	Длительность эксперимента	Значение оптической плотности D на начало эксперимента	Значение оптической плотности D в конце эксперимента
100% свекольный сок	-	2	-
10% свекольный сок	-	0,85	-
10% свекольный сок с активированным углем	2 дня	0,85	0
10% свекольный сок с полисорбом	2 дня	0,85	0,13
10% свекольный сок с энтеросгелем	2 дня	0,85	0,38

Выявленная закономерность объясняется различиями в структурной организации адсорбентов. Активированный уголь обладает микропористой структурой с огромной удельной поверхностью, что обеспечивает эффективную физическую адсорбцию молекул красителя любой полярности. «Полисорб», состоящий из наночастиц диоксида кремния, также имеет большую активную поверхность, однако его сорбционная емкость несколько ниже из-за механизма связывания преимущественно через водородные связи с гидроксильными группами на поверхности частиц [5]. «Энтеросгель», являясь гидрогелем, образует пространственную сетку, которая эффективно захватывает среднемолекулярные токсины, но для крупных органических пигментов свеклы его «ячеистая» структура оказалась менее доступной, что и отразилось в более низких показателях адсорбции.

Интересно отметить, что визуально раствор с активированным углем казался мутным из-за взвешенных частиц сорбента, однако датчик оптической плотности зафиксировал именно прозрачность жидкой фазы, что под-

тверждает высокую точность инструментального метода по сравнению с субъективной оценкой.

В результате проведенного исследования была достигнута поставленная цель: экспериментально подтверждено явление адсорбции и проведен сравнительный анализ эффективности трех распространенных медицинских адсорбентов.

Использование цифровой лаборатории Releon с датчиком оптической плотности позволяет объективно количественно оценивать результаты химического эксперимента, что значительно повышает его научную значимость и наглядность.

Практическая значимость работы заключается в формировании научного подхода к выбору адсорбентов в бытовых и медицинских целях. Понимание того, что разные препараты обладают разной селективностью и емкостью, позволяет осознанно подходить к вопросам детоксикации. Перспективами дальнейших исследований является изучение адсорбции в динамике (кинетика процесса) и оценка влияния кислотности среды на сорбционную способность данных препаратов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бердонос, С. С. Справочник по общей химии / С. С. Бердонос, П. С. Бердонос. — М.: АСТ Астрель, 2000. — 542 с. — Текст: непосредственный. Габриелян О. С. Химия. 9 класс: учебное пособие. — М.: Дрофа, 2009. — 256 с.

2. Астахов, В. А. Изучение свойств адсорбентов / В. А. Астахов, М. М. Дубинин. — Киев: Наукова думка, 2009. — 384 с. — Текст: непосредственный.
3. Сравнительная характеристика адсорбционных свойств энтеросгеля / В. А. Филиппова, А. В. Лысенкова, В. А. Игнатенко, А. К. Довнар. — Текст: непосредственный // Проблемы здоровья и экологии. — 2023. — № 5. — С. 17–25.
4. Скурихин, И. М. Все о пище с точки зрения химика / И. М. Скурихин, А. П. Нечаев. — М.: Высшая шк., 1991. — 287 с. — Текст: непосредственный.
5. Герникова, Е. П. Определение адсорбционной активности энтеросорбентов / Е. П. Герникова, А. И. Лутцева, А. И. Боковикова. — Текст: непосредственный // Ведомости НСЦЭСМП. — 2022. — № 2. — С. 31–38.

Синтез и перспективы применения продукта реакции нитрата серебра с сульфатом железа (II) в промышленных целях

*Филимонова Алина Михайловна, учащаяся 10-го класса
МБОУ «Ершицкая средняя школа» (Смоленская область)*

Научный руководитель: Филимонова Марина Сергеевна, преподаватель

Профессиональный лицей № 6 г. Смоленска

Введение
Работа посвящена изучению того, какие вещества получают при смешивании нитрата серебра и сульфата железа (II), и насколько эти продукты могут быть полезны в промышленности. Актуальность темы связана с тем, что соединения и частицы серебра востребованы во многих сферах — от очистки воды до электроники. При этом важно находить относительно простые и недорогие способы их получения. Использование сульфата железа как восстановителя позволяет удешевить процесс по сравнению с применением более дорогих реагентов.

Цель работы — выяснить, как управлять реакцией, чтобы получать нужный продукт, и оценить, где он может пригодиться на практике. Задачи включают подбор условий синтеза, описание полученных веществ, их проверку с помощью современных методов анализа и разбор возможных промышленных применений.

Актуальность

Потребность в эффективных и экономически выгодных способах получения соединений и наночастиц серебра остаётся высокой: серебро используют в электронике, медицине, системах очистки воды, производстве антимикробных материалов. При этом многие традиционные методы синтеза требуют дорогих реагентов или сложных условий, из-за чего себестоимость продукта растёт.

Теоретическая часть

Реакция между этими веществами может идти по-разному. В одних условиях образуется нерастворимое соединение серебра, выпадающее в виде осадка. В других — формируются очень мелкие частицы чистого серебра, настолько маленькие, что они остаются распределёнными в растворе и образуют устойчивую взвесь (коллоидную систему).

На то, какой именно продукт получится, сильно влияет среда, в которой идёт реакция. Если среда слабокислая или нейтральная, преимущественно образуется осадок

соединения серебра. Если же сделать среду слабощелочной, запускается процесс восстановления: ионы серебра превращаются в мельчайшие частицы металлического серебра.

Важны и другие параметры:

— **Концентрация исходных веществ.** Если восстановителя (соединений железа) больше, реакция идёт полнее и можно получить больше металлического серебра.

— **Температура.** Более высокая температура ускоряет химические превращения, но может приводить к слипанию мелких частиц между собой.

— **Скорость смешивания растворов.** Если смешивать быстро и равномерно, чаще удаётся получить частицы примерно одинакового размера.

— **Добавки-стабилизаторы.** Специальные вещества помогают удерживать мелкие частицы серебра в растворе, не давая им слипаться и выпадать в осадок.

Для проверки того, что именно получилось, используют разные методы:

— **Спектрофотометрия.** Позволяет по цвету раствора судить о наличии и размере частиц серебра: у очень мелких частиц есть характерное светопоглощение, по которому их можно распознать.

— **Рентгенофазовый анализ.** Помогает понять, в каком виде находится серебро — в виде кристаллического соединения или в форме металла.

— **Электронная микроскопия.** Даёт возможность увидеть сами частицы, оценить их форму и размер.

— **Другие методы анализа.** Нужны для точного определения состава, количества серебра и примесей.

Экспериментальная часть

В ходе работы можно провести два основных варианта синтеза.

Получение осадка соединения серебра. Растворы исходных веществ смешивают в нейтральной или слабощелочной среде при комнатной температуре. После смешива-

ния дают смеси постоять, чтобы всё, что должно выпасть в осадок, действительно выпало. Затем осадок отделяют фильтрованием, промывают чистой водой и высушивают. Полученное вещество проверяют на растворимость и анализируют его структуру.

Получение мелких частиц серебра. К раствору нитрата серебра добавляют сульфат железа в таком количестве, чтобы восстановителя было чуть больше, чем нужно. Затем аккуратно повышают щелочность среды, чтобы запустить восстановление серебра. Смесь перемешивают при умеренном нагреве. При необходимости вводят стабилизатор, чтобы частицы оставались мелкими и не слипались. В результате раствор постепенно меняет цвет, что служит признаком образования частиц серебра. После завершения процесса продукт анализируют.

При работе с этими веществами обязательно соблюдать меры безопасности: соединения серебра могут быть токсичными для окружающей среды, а пыль или аэрозоли — опасны для здоровья. Все операции лучше проводить в вытяжном шкафу, в перчатках и защитных очках. Отходы нужно собирать отдельно и утилизировать по правилам обращения с тяжёлыми металлами.

Результаты и обсуждение

В результате экспериментов удаётся получить два принципиально разных продукта.

Первый — это плотный осадок, представляющий собой соединение серебра. Он выглядит как белые кристаллы, плохо растворяется в воде, но растворяется в некоторых специальных растворах. Анализ подтверждает, что это именно то соединение серебра, которое должно было образоваться в этих условиях.

Второй продукт — взвесь мельчайших частиц металлического серебра. Раствор приобретает желтовато-коричневую окраску, которая меняется в зависимости от размера частиц. Микроскопия показывает, что частицы имеют размер в десятки нанометров. Без стабилизатора они со временем склонны слипаться, а со стабилизатором остаются распределёнными дольше.

Условия реакции напрямую определяют, какой продукт преобладает. В нейтральной среде почти всё серебро уходит в осадок в виде соединения. В слабощелочной среде значительная часть серебра восстанавливается до металлических частиц. Повышение температуры ускоряет процесс, но увеличивает риск их слипания. Стабилизатор заметно улучшает устойчивость полученной взвеси.

Перспективы промышленного применения

Соединение серебра может быть полезно в следующих областях:

- **Электрохимические процессы.** Его используют как источник ионов серебра в тех случаях, когда нежелательно присутствие хлора или других галогенов.
- **Тонкий химический синтез.** Как реагент, дающий ионы серебра без лишних примесей.
- **Создание функциональных материалов.** В составе покрытий и композитов, где нужна электропроводность или антимикробные свойства.

Мелкие частицы серебра интересны для:

- **Очистки воды и обеззараживания.** Их добавляют в фильтры и системы водоподготовки, чтобы подавлять рост бактерий и других микроорганизмов.
- **Антимикробных материалов.** В текстиле, красках, лаках, перевязочных средствах, чтобы сделать их устойчивыми к заражению.
- **Композитов и покрытий.** Для придания материалам особых свойств, например, электропроводности, устойчивости к биообрастанию или повышенной эффективности в определённых процессах.

Вместе с тем есть и ограничения. Коллоидные системы с частицами серебра требуют тщательного контроля: без стабилизаторов они быстро теряют свои свойства. Кроме того, нужно учитывать экологические риски и токсичность соединений серебра для водных организмов. Для промышленного использования важно обеспечить воспроизводимость результатов, стабильность продукта и экономическую целесообразность.

Выводы

1. В зависимости от условий из смеси нитрата серебра и сульфата железа можно получать либо осадок соединения серебра, либо мелкие частицы металлического серебра.
2. Ключевыми параметрами являются кислотность среды, концентрации веществ, температура и наличие стабилизаторов.
3. Соединение серебра перспективно для электрохимии и тонкого синтеза как источник ионов без нежелательных примесей.
4. Мелкие частицы серебра могут применяться в водочистке, антимикробных материалах и композитах, но требуют решения вопросов стабильности и безопасности.
5. Предложенные подходы потенциально можно масштабировать для промышленного производства, однако для этого нужна дальнейшая оптимизация условий и проработка технологических нюансов.

БИОЛОГИЯ



Феномен повторного (позднего) гнездования серой вороны (*Corvus cornix*) в городской среде: экологические и поведенческие аспекты

Милюкова Дарья Валентиновна, учащаяся 9-го класса

Научный руководитель: Гуськова Светлана Анатольевна, учитель биологии и экологии

МБОУ «Гатчинская СОШ № 12 «Центр образования» (Ленинградская область)

В статье автор исследует проблемы и особенности феномена позднего/повторного гнездования серой вороны (*Corvus cornix*) в условиях городской среды, анализируя фенологические стадии, адаптивные стратегии и экологические факторы, влияющие на сроки и успешность воспроизводства.

Ключевые слова: позднее гнездование, повторное гнездование, серая ворона *Corvus cornix*, фенологические стадии, городская среда, экологические факторы, репродуктивное поведение.

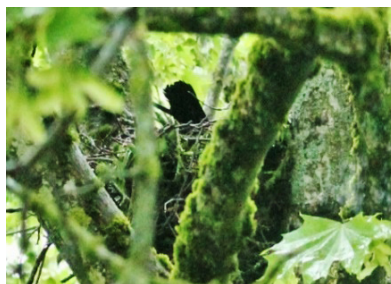
Отечественные орнитологи отмечают, что позднее (повторное) гнездование серой вороны (*Corvus cornix*) — важная адаптивная стратегия в условиях города [1]. Исследования показывают, что в черте города серая ворона демонстрирует экстремальную поведенческую гибкость. Из-за обилия корма (антропогенные отходы) и мягкого микроклимата они начинают гнездиться в среднем на 2 недели раньше диких сородичей [2]. Однако из-за высокого фактора беспокойства (спил деревьев, разорение гнезд) они часто теряют первые кладки и вынуждены строить повторные гнезда в поздние сроки, что сильно растягивает их репродуктивный период по сравнению с загородными популяциями. Чтобы повысить выживаемость потомства, вороны часто размещают поздние гнезда в скрытых частях крон, что позволяет им успешно адаптироваться к урбанизированной среде [3].

В рамках собственных наблюдений были подробно зафиксированы фенологические стадии строительства и развития гнезда серой вороны в городских условиях. Исследование проводилось в период с 15 мая по 20 июня 2026 года на обыкновенном клёне во дворе, напротив окон квартиры, в спальном районе г. Гатчины (Ленинградская обл.). Регулярные осмотры, проводившиеся каждые 1–2 дня, позволили установить внимательное описание каждой стадии гнездового цикла – от начальной подготовки, строения каркаса, укладки материалов, до завершения работ и начала насиживания яиц [4].

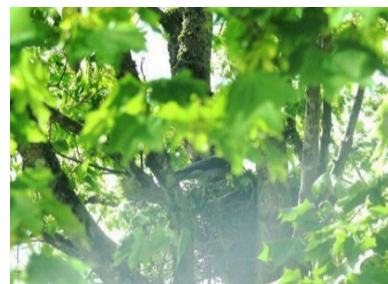
В результате было выявлено, что строительство гнезда началось 15 мая, а завершение пришлось на 20 мая 2026 года. В течение этого периода пара серых ворон использовали разнообразные материалы: веточки и мягкие субстраты, что свидетельствует о высокой пластичности и использовании доступных ресурсов – типовых свойств гнездовой стратегии серых ворон [5].



а)



б)



в)



г)



д)

Рис. 1. Фенологические стадии гнездовой конструкции: а) готовое гнездо; б) периодическое захаживание в гнездо; в) ворона на кладке; г) кормление слётка; д) слёток на 26-й день

Гнездовая конструкция размещалась пристольно, на высоте примерно 20–25 м над землёй (рисунок 1). С 21 мая 2026 года серая ворона периодически захаживала в гнездо, а с 24 мая 2026 года она села на кладку. В течение всей этого периода наблюдался уход за гнездом и постепенное изменение его конструкции. Кроме этого, серая ворона иногда улетаала с гнезда, чтобы подкормиться. Среднее время отсутствия составляло 5–10 минут. На 26 день (вторая декада июня 2026 года) зафиксировано появление одного слётка, что подтверждает, что цикл развития потомства от закладки яиц до выхода молодых птиц с поздних гнёзд, хотя и с задержкой, сохраняется в природных рамках, приспособленных к городским условиям [6].

Позднее гнездование серых ворон — это стратегия адаптации к динамичной городской среде. Она позволяет птицам компенсировать потери кладок и повышать репродуктивный успех в условиях стресса и дефицита ресурсов.

Экологическая гибкость и фенологическая адаптация помогают воронам эффективно использовать благоприятные периоды, минимизируя риски от климатических факторов, конкуренции и хищников. Исследования подтверждают, что поздние кладки по выживаемости птенцов не уступают ранним, что доказывает высокую приспособленность вида к жизни в мегаполисах [4–6].

Область изучения фенологических стадий позднего гнездования серых ворон в городских условиях — это перспективное направление, которое углубляет понимание адаптивных механизмов вида.

Конкретные наблюдения, подтверждённые в ходе исследования за 2026 год, свидетельствуют о высокой гибкости репродуктивных циклов и способности видов к кросс-экологической стратегии — все эти факторы позволяют формировать устойчивые популяции в условиях интенсивной антропогенной нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Константинов В.М. Врановые птицы как модель синантропизации и урбанизации // Русский орнитологический журнал. — 2012. — Т. 21. — № 747. — С. 833–848. (<https://cyberleninka.ru/article/n/vranovye-ptitsy-kak-model-sinantropizatsii-i-urbanizatsii>. Дата обращения: 03 июня 2026 года).
2. Короткова Т.Б., Поддубная Н.Я. Приспособления серой вороны (*Corvus cornix* Linnaeus, 1758) к городской среде // Самарский научный вестник. — 2018. — Т. 7. — № 4 (25). — С. 57–63. (<https://cyberleninka.ru/article/n/prisposobleniya-seroy-vorony-corvus-cornix-linnaeus-1758-k-gorodskoy-srede>. Дата обращения: 13 июня 2026 года).
3. Рябов А.В., Пономарев В.А. Особенности гнездования серой вороны (*Corvus cornix*) в г. Иванове // Вестник Ивановского государственного университета. Серия: Естественные, общественные науки. — 2014. — № 2. — С. 17–21. (<https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-gnezdvaniya-seroy-vorony-corvus-cornix-v-g-ivanove>. Дата обращения: 24 июня 2026 года).
4. Блинова Т.К., Мухачева М.М. Особенности гнездовой экологии серой вороны в условиях города Томска // Вестник Томского государственного университета. Биология. — 2010. — № 1 (9). — С. 60–71. (электронная версия статьи находится на платформе eLIBRARY. RU. Дата обращения: 24 июля 2026 года).
5. Храбрый В.М. Особенности гнездования серой вороны *Corvus cornix* в Ленинграде // Русский орнитологический журнал. — 2017. — Т. 26. — № 1435. — С. 1640–1643. (<https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-gnezdvaniya-seroy-vorony-corvus-cornix-v-leningrade>. Дата обращения: 14 июля 2026 года).
6. Квартальнов П.В. Особенности гнездовой экологии серой вороны *Corvus cornix* в промышленно-городской агломерации Подмосковья // Русский орнитологический журнал. — 2021. — Т. 30. — № 2046. — С. 1243–1248. (<https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-gnezdvoy-ekologii-seroy-vorony-corvus-cornix-v-promyshlennno-gorodskoy-aglomeratsii-podmoskovya/viewer>. Дата обращения: 24 июля 2026 года).

Танец и нейробиология: как движения влияют на работу мозга

*Пальмина Дарья Владимировна, учащаяся 10-го класса
ГБОУ г. Москвы «Школа Перспектива»*

*Научный руководитель: Короткова Оксана Юрьевна, кандидат медицинских наук,
руководитель медицинского подразделения*

ООО «ТОП НУТРИШН» (г. Москва)

В статье автор рассматривает влияние танцевальной активности на когнитивные и эмоциональные функции мозга подростков с точки зрения нейробиологии. Приводятся результаты собственного практического исследования: танцевального занятия с последующей оценкой концентрации внимания, логического мышления и эмоционального состояния участниц.

Ключевые слова: танец, нейробиология, нейропластичность, подростки, когнитивные функции, эмоциональное состояние, концентрация внимания.

Введение
Актуальность темы. В условиях высокой учебной нагрузки, постоянного информационного потока и снижения двигательной активности у современных подростков наблюдается ухудшение концентрации внимания, памяти и эмоциональной устойчивости. Научные исследования в области нейробиологии показывают, что движение играет ключевую роль в развитии и поддержании когнитивных функций [10]. Особый интерес в этом контексте представляет танец — вид физической активности, сочетающий двигательную, эмоциональную и интеллектуальную составляющие. Несмотря на очевидный потенциал, влияние именно танцевальных движений на работу мозга подростков изучено недостаточно, что определяет актуальность данной работы.

Цель работы — изучить влияние танцевальных движений на работу головного мозга подростков с точки зрения нейробиологии и определить их воздействие на когнитивные и эмоциональные функции. Рабочая гипотеза: регулярные занятия танцами способствуют улучшению памяти, внимания и эмоционального состояния подростков.

Теоретические основы исследования

Нейробиология изучает строение и функционирование нервной системы и механизмы, с помощью которых мозг обеспечивает поведение, мышление, эмоции и движения. Ключевым понятием является нейропластичность — способность мозга изменять свою структуру и функции под воздействием опыта и активности, особенно выраженная в подростковом возрасте. Любое осознанное движение задействует моторную кору, планирующую движение, мозжечок, отвечающий за координацию и равновесие, и подкорковые структуры, обеспечивающие автоматизацию хорошо отработанных движений. В танце эти системы работают согласованно, позволяя танцору переключаться от сознательного контроля к эмоциональному и художественному выражению.

Движение — один из наиболее эффективных факторов, стимулирующих нейропластичность: мозг постоянно адаптируется к новым комбинациям движений, темпу и ритму [9]. Физическая активность в целом улучшает память, внимание и скорость мышления за счёт усиления кровообращения и активации нейронных сетей [10]; танец, дополнительно требующий ритма, координа-

ции и запоминания последовательностей, способен усиливать эти эффекты и стимулировать межполушарное взаимодействие.

Танец — одна из древнейших форм человеческой активности, существующая во всех культурах мира и выполняющая ритуальную, социальную, художественную и терапевтическую функции [2, 8]. Это система осознанных, координированных движений в ритме и пространстве [3, 5], при которой мозг одновременно обрабатывает музыку, отслеживает положение тела и регулирует эмоциональное состояние — нагрузка, отличающая танец от многих других видов активности [7]. Танец передаёт культурные традиции и социальный опыт [1, 6] и оказывает выраженное эмоциональное воздействие через лимбическую систему, способствуя выработке дофамина, серотонина и эндорфинов и снижению уровня кортизола, что помогает подросткам справляться со стрессом.

Методика и результаты исследования

В практическом исследовании приняли участие 10 подростков женского пола в возрасте от 15 до 18 лет — обучающиеся общеобразовательных учреждений без медицинских противопоказаний к физической активности, с разным уровнем предварительной танцевальной подготовки. Все участницы занимались в одинаковых условиях: одно помещение, время, содержание и продолжительность занятия. Когнитивные и эмоциональные функции оценивались с помощью двух анкет, включавших задания на концентрацию внимания, логические задачи и самооценку эмоционального состояния по шкале от 1 до 5; анкетирование проводилось непосредственно до и после занятия.

Танцевальное занятие продолжительностью один час состояло из разминки (10–15 минут), основной части с разучиванием танцевальной связки под музыку (35–40 минут) и заключительного этапа с элементами растяжки и расслабления (5–10 минут).

До занятия эмоциональное состояние большинства участниц (80%) оценивалось на 3 балла из 5, у 10% — на 4 балла, у 10% — на 2 балла; частота занятий танцами варьировалась от одного раза в неделю (50% участниц) до нескольких раз в месяц или реже. После занятия 80% участниц оценили своё эмоциональное состояние на 5 баллов, оставшиеся 20% — на 4 балла. Доля правильных ответов в когнитивных заданиях выросла с 76% до 90%.

Обсуждение и выводы

Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии однократного танцевального занятия на эмоциональное состояние и когнитивные показатели подростков. Рост доли правильных ответов с 76% до 90% указывает на улучшение концентрации внимания и устойчивости к отвлекающим факторам, что может быть связано с активацией нервной системы во время движения и включением механизмов координации, памяти и произвольного контроля. Выраженный сдвиг в сторону высоких оценок эмоционального состояния после занятия говорит о том, что сочетание физической активности, музыки и эмоционального вовлечения способно снижать напряжение и улучшать настроение, по крайней мере в краткосрочной перспективе. Положительная динамика наблюдалась у участниц с разным уровнем танцевальной подготовки, что указывает на потенциальную применимость танца независимо от предварительного опыта.

Регулярные танцевальные занятия продолжительностью 45–60 минут 1–2 раза в неделю, включающие разминку, разучивание хореографии и заключительное расслабление, могут быть рекомендованы как форма внеурочной деятельности в образовательных учреждениях и как элемент программ поддержки психоэмоционального благополучия подростков [4].

Ограничения исследования связаны с небольшой и однородной выборкой ($n = 10$, только девушки) и отсутствием контрольной группы, что требует дальнейшей проверки на большей выборке. Тем не менее теоретический анализ и практическое исследование подтверждают, что танец, объединяющий движение, координацию, работу внимания и эмоциональное переживание, может рассматриваться как доступный и эффективный инструмент поддержки когнитивного и эмоционального развития подростков, применимый в образовательной и внеурочной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бурдые П. Формы капитала. — 2002. — С. 60–74.
2. Духова А. Танцуют все! — 2010. — 320 с.
3. Захаров Р. В. Искусство балетмейстера. — 1954. — 432 с.
4. Капкова Е. Г. Арт-менеджмент в современных реалиях: стратегии выживания и развития. — 2018. — С. 1–8.
5. Карп П. М. О балете. — 1967. — 280 с.
6. Хезмондалш Д. Культурные индустрии. — 2014. — 456 с.
7. Фостер С. Л. Reading dancing: Bodies and Subjects in Contemporary American Dance. — 1986. — 312 с.
8. Хаскелл А. Л. Balletomania: The story of an Obsession. — 1934.
9. Абрамова Н. Г. Влияние ритмических танцевальных упражнений на нейронные сети моторной коры // Журнал нейробиологии. — 2018. — № 4. — С. 45–52.
10. Is Dancing Good for the Brain? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.news-medical.net/health/Is-Dancing-Good-for-the-Brain.aspx>

Влияние продолжительности сна на умственную активность учащихся

*Сивоброва Татьяна Витальевна, учащаяся 11-го класса
МБОУ «Гимназия № 1 г. Челябинска»*

Научный руководитель: Пономарева Любовь Николаевна, фармацевт

Аптечная сеть «Аптека Плюс» (г. Челябинск)

В статье рассматривается связь между продолжительностью ночного сна и умственной активностью учащихся 10 класса. В течение четырех недель 15 участников в возрасте 15–17 лет проходили тестирование по трем методам: таблицам Шульте, корректурной пробе и тесту кратковременной памяти.

Ключевые слова: сон, умственная активность, внимание, память, подростки.

Каждый школьник знает, что перед контрольной работой лучше выспаться. Но действительно ли сон так сильно влияет на то, как мы думаем? В современной школе ученики часто недосыпают из-за большого количества домашних заданий, дополнительных занятий и времени, проведенного в телефоне перед сном. При этом именно в подростковом возрасте мозг активно развивается, и сон ему особенно необходим.

Ученые установили, что для подростков 14–17 лет рекомендуемая продолжительность сна составляет 8–10 часов в сутки. Однако на практике многие школьники спят значительно меньше. По данным отечественных исследований, значительная часть старшеклассников испытывает недостаток сна.

В своей работе я решила проверить, как разная продолжительность сна связана с показателями внимания

и памяти моих ровесников. Для этого я провела исследование, в котором участники в течение четырех недель имели различную продолжительность сна, после чего выполняли специальные когнитивные задания.

Цель исследования: выяснить, связана ли продолжительность ночного сна с показателями умственной активности учащихся.

Гипотеза: при недостаточной продолжительности сна показатели внимания и памяти будут ниже, чем при нормальной продолжительности сна.

В исследовании приняли участие 15 подростков 15–17 лет (7 мальчиков и 8 девочек). Участие в исследовании было добровольным. Родители участников были проинформированы о проведении исследования и дали свое согласие. Участники были проинформированы о том, что могут выйти из исследования в любой момент без объяснения причин. При появлении головной боли, выраженной усталости или других жалоб в период ограничения сна участникам рекомендовалось прекратить участие.

Исследование длилось 4 недели. Каждая неделя была посвящена определенному режиму сна:

- Неделя 1: участники сохраняли привычный режим сна;
- Неделя 2: участники старались спать не более 5 часов в сутки;
- Неделя 3: участники ориентировались на продолжительность сна 8 часов;
- Неделя 4: участники ориентировались на продолжительность сна 10 часов.

Продолжительность сна участники фиксировали с помощью фитнес-браслетов и специальных приложений-трекеров на телефонах. Тестирование проводилось каждую пятницу примерно в одно и то же время в середине дня, чтобы условия проведения исследования оставались максимально одинаковыми.

В ходе моего исследования были использованы следующие методики:

1. Таблицы Шульте.

Использовалась таблица 5 × 5 клеток, в которой числа от 1 до 25 расположены в случайном порядке. Участник должен был найти все числа по порядку как можно быстрее. Фиксировалось время выполнения задания. Методика использовалась для оценки скорости выполнения зрительно-поисковой задачи и концентрации внимания.

2. Корректурная проба.

Участникам выдавался лист с рядами букв. В течение 2 минут необходимо было вычеркивать заданные буквы. После завершения работы подсчитывались количество

просмотренных знаков и количество допущенных ошибок. Методика использовалась для оценки концентрации и устойчивости внимания.

3. Тест на кратковременную память.

Участникам зачитывались ряды из 10 случайных чисел. Через 5 секунд участник должен был записать числа в том же порядке. Проводилось три попытки, после чего рассчитывалось среднее количество правильно воспроизведенных чисел.

Для каждого участника определялись результаты по каждой методике в каждый период исследования. После этого рассчитывались средние значения по группе и проводилось сравнение результатов между неделями. Также анализировались индивидуальные изменения показателей участников.

В первую неделю участники спали в своем привычном режиме без каких-либо ограничений. В таблице 1 приведены данные из дневников сна.

Таблица 1. Средняя продолжительность сна в первую неделю

Участник	Ср. продолжительность сна (часов)
Участник 1	6,5
Участник 2	7,0
Участник 3	5,8
Участник 4	7,5
Участник 5	6,2
Участник 6	6,0
Участник 7	5,5
Участник 8	8,0
Участник 9	6,8
Участник 10	7,2
Участник 11	6,0
Участник 12	7,8
Участник 13	5,9
Участник 14	6,5
Участник 15	7,0
Среднее по группе	6,6

Как видно, в привычном режиме большинство участников спали меньше рекомендуемой нормы 8–10 часов. Только два участника (8 и 12) имели продолжительность сна, соответствующую рекомендуемому диапазону.

В таблице 2 приведены индивидуальные результаты времени выполнения задания.

Таблица 2. Время выполнения таблицы Шульте (в секундах)

Участник	Неделя 1 (привычный режим)	Неделя 2 (5 часов)	Неделя 3 (8 часов)	Неделя 4 (10 часов)
Участник 1	61	74	58	56
Участник 2	66	83	61	59
Участник 3	73	90	65	63
Участник 4	57	70	54	51
Участник 5	64	82	57	55
Участник 6	59	76	55	53
Участник 7	70	88	67	64

Участник	Неделя 1 (привычный режим)	Неделя 2 (5 часов)	Неделя 3 (8 часов)	Неделя 4 (10 часов)
Участник 8	54	68	49	47
Участник 9	69	84	62	60
Участник 10	60	79	56	54
Участник 11	63	77	58	56
Участник 12	55	71	51	49
Участник 13	68	85	61	59
Участник 14	65	81	57	55
Участник 15	62	78	56	54
Среднее время	63,1	79,1	57,8	55,7

В среднем при 5-часовом сне время выполнения задания увеличилось примерно на 16,0 секунд по сравнению с исходной неделей, то есть примерно на 25%. При 8-часовом сне время уменьшилось на 5,3 секунды (примерно на 8%). Разница между 8-часовым и 10-часовым сном составила всего 2,1 секунды.

Таким образом, наиболее высокие результаты были получены после периода с продолжительностью сна 10 часов, а наиболее низкие — после периода с продолжительностью сна 5 часов.

Однако результаты отдельных участников различались. Например, участник 8, который в первую неделю спал 8 часов, показал относительно небольшое абсолютное увеличение времени выполнения задания при сокращении сна до 5 часов. Участник 3, напротив, продемонстрировал более выраженное увеличение времени выполнения.

В таблице 3 приведены данные по количеству просмотренных знаков корректурной пробы, а в таблице 4 — по количеству ошибок.

Таблица 3. Количество просмотренных знаков за 2 минуты

Участник	Неделя 1	Неделя 2	Неделя 3	Неделя 4
Участник 1	245	220	258	252
Участник 2	230	205	247	240
Участник 3	218	192	235	228
Участник 4	260	238	275	268
Участник 5	240	214	255	248
Участник 6	248	221	262	255
Участник 7	222	198	240	233
Участник 8	268	245	282	275
Участник 9	225	200	243	236
Участник 10	252	228	267	260
Участник 11	236	210	250	243
Участник 12	264	242	279	272
Участник 13	228	202	245	238
Участник 14	242	217	257	250
Участник 15	238	212	253	246
Среднее значение	241,1	216,3	256,5	249,6

Таблица 4. Количество ошибок в корректурной пробе

Участник	Неделя 1	Неделя 2	Неделя 3	Неделя 4
Участник 1	3	7	2	2
Участник 2	4	8	3	3
Участник 3	4	10	3	3
Участник 4	2	5	1	1
Участник 5	3	8	2	2
Участник 6	3	6	2	2
Участник 7	4	9	3	3
Участник 8	1	4	1	1

Участник	Неделя 1	Неделя 2	Неделя 3	Неделя 4
Участник 9	5	11	4	3
Участник 10	3	7	2	2
Участник 11	4	8	3	2
Участник 12	2	5	1	1
Участник 13	4	8	3	3
Участник 14	3	7	2	2
Участник 15	3	6	2	2
Среднее значение	3,2	7,3	2,3	2,1

При 5-часовом сне количество ошибок увеличилось в среднем с 3,2 до 7,3, то есть примерно в 2,3 раза по сравнению с исходной неделей.

При 10-часовом сне количество ошибок снизилось до 2,1, что примерно на 34% меньше, чем в привычном режиме.

Одновременно с этим количество просмотренных знаков после периода с 5-часовым сном снизилось, а после периодов с 8- и 10-часовым сном увеличилось. Это свидетельствует о том, что при более продолжительном сне участники в среднем выполняли задание быстрее и допускали меньше ошибок.

Таблица 5. Среднее количество запомненных чисел (из 10)

Участник	Неделя 1	Неделя 2	Неделя 3	Неделя 4
Участник 1	6,3	4,3	7,0	7,0
Участник 2	6,0	4,0	6,7	6,7
Участник 3	5,3	3,3	6,0	6,0
Участник 4	7,0	5,0	7,7	7,3
Участник 5	6,3	4,3	7,0	7,0
Участник 6	6,0	4,0	6,7	6,7
Участник 7	5,7	3,7	6,3	6,3
Участник 8	7,3	5,7	8,0	7,7
Участник 9	5,7	3,7	6,3	6,3
Участник 10	6,3	4,3	7,0	7,0
Участник 11	6,0	4,0	6,7	6,7
Участник 12	7,0	5,3	7,7	7,3
Участник 13	6,3	4,3	7,0	7,0
Участник 14	6,0	4,0	6,7	6,7
Участник 15	6,3	4,3	7,0	7,0
Среднее значение	6,2	4,3	6,9	6,8

Среднее количество правильно воспроизведенных чисел в привычном режиме составило 6,2, после периода с 5-часовым сном — 4,3, после 8-часового сна — 6,9, а после 10-часового — 6,8.

Таким образом, при 5-часовом сне результат снизился примерно на 1,9 по сравнению с исходным уровнем. При 10-часовом сне результат оказался чуть ниже, чем при 8-часовом, но все же выше, чем в привычном режиме.

Полученные средние значения соответствуют типичным показателям для данной возрастной группы без специальной тренировки памяти. Полученные результаты показывают выраженную связь между продолжительностью сна и показателями умственной активности. Наиболее низкие результаты по всем трем методикам были получены после периода с 5-часовым сном.

При сокращении продолжительности сна увеличивалось время выполнения таблиц Шульте и количество ошибок в корректурной пробе, одновременно снижалось ко-

личество правильно воспроизведенных чисел. Это может свидетельствовать о снижении концентрации внимания и эффективности кратковременного запоминания при недостаточной продолжительности сна.

Интересно, что при 10-часовом сне показатели оказались не лучше, чем при 8-часовом, а в некоторых случаях — даже несколько ниже. Например, в корректурной пробе количество просмотренных знаков при 10-часовом сне было на 6,9 знака меньше, чем при 8-часовом. В тесте на память разница составила 0,1 числа. Это может говорить о том, что слишком долгий сон не дает дополнительного преимущества для умственной активности. Такой результат согласуется с мнением о том, что для организма важен не только сам сон, но и его соответствие естественным потребностям: как недосыпание, так и избыточный сон могут сопровождаться дневной вялостью и снижением работоспособности.

Полученные результаты согласуются с данными научных исследований о роли сна в поддержании внима-

ния, памяти и нормального уровня работоспособности. Во время сна происходят процессы восстановления организма и обработки информации, полученной в течение дня. Поэтому недостаточная продолжительность сна может отрицательно сказываться на выполнении когнитивных задач.

При этом необходимо учитывать несколько ограничений исследования. Во-первых, в исследовании участвовало только 15 человек, поэтому полученные результаты нельзя автоматически распространять на всех подростков. Во-вторых, участники выполняли одинаковые или сходные когнитивные задания несколько раз. Поэтому часть улучшения результатов в последующие недели могла быть связана с привыканием к заданиям и накоплением опыта их выполнения. Однако выраженное ухудшение результатов на второй неделе при 5-часовом сне трудно объяснить только эффектом тренировки, поскольку при повторном выполнении заданий ожидалась бы противоположная динамика — улучшение результатов по мере практики. В-третьих, фактическая продолжительность сна контролировалась с помощью фитнес-браслетов и приложений-трекеров, поэтому полностью исключить неточности в указании времени сна невозможно. В-четвертых, порядок условий был одинаковым для всех участников. Поэтому нельзя полностью исключить влияние последовательности недель на результаты. В будущем целесообразно использовать случайный порядок условий для разных участников.

Таким образом, результаты исследования подтверждают выдвинутую гипотезу и показывают наличие связи между продолжительностью сна и показателями внимания и кратковременной памяти. Однако для более точного определения характера этой связи необходимы дальнейшие исследования с большей выборкой и более объективным контролем продолжительности сна.

Выводы:

1. В исследуемой группе наблюдалась связь между продолжительностью ночного сна и показателями умственной активности.

2. При 8-часовом сне были получены наиболее высокие результаты по большинству использованных методик. Увеличение времени сна до 10 часов не привело к значительному улучшению показателей, а в некоторых случаях — к их незначительному ухудшению.

3. Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что достаточная продолжительность сна связана с более высокими показателями внимания и кратковременной памяти у учащихся.

4. Для получения более точных результатов в дальнейшем необходимо увеличить количество участников, использовать более объективные способы регистрации сна и учитывать влияние повторного выполнения когнитивных тестов.

На основании полученных результатов и существующих рекомендаций по продолжительности сна подросткам рекомендуется уделять особое внимание соблюдению полноценного режима сна.

Рекомендуется:

- спать не менее 8 часов в сутки;
- поддерживать относительно постоянное время отхода ко сну и пробуждения;
- по возможности уменьшать использование телефона и других электронных устройств непосредственно перед сном;
- не сокращать продолжительность сна в периоды повышенной учебной нагрузки.

Соблюдение достаточной продолжительности сна может способствовать поддержанию концентрации внимания и эффективной умственной деятельности учащихся.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ковальзон В. М. Основы сомнологии: физиология и нейрхимия цикла «бодрствование — сон». — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2021. — 239 с.
2. Дорохов В. Б. Сон и когнитивные процессы: современное состояние проблемы // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. — 2020. — Т. 70. — № 1. — С. 3–12.
3. Корабельникова Е. А. Сон и когнитивные функции у подростков: обзор современных исследований // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. — 2023. — Т. 123. — № 5. — С. 7–14.
4. Хальчицкий С. Е. Роль сна в процессах консолидации памяти у подростков // Физиология человека. — 2023. — Т. 49. — № 3. — С. 88–96.
5. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). Рекомендации по продолжительности сна для детей и подростков. — Женева: ВОЗ, 2020. — 24 с.

Развитие ботаники как науки

Чижанькова Анна Андреевна, учащаяся 7-го класса

Научный руководитель: Фигурова Наталья Александровна, учитель биологии

МБОУ СОШ № 6 г. Смоленска

Данная статья посвящена изучению становления ботаники как отдельной науки. В работе рассматривается история появления ботаники, вклад известных учёных разных эпох в формирование биологических знаний.

Ключевые слова: биология, ботаника, разделы ботаники, Аристотель, Теофраст, Педаний Диоскорид, Карл Линней, Чарльз Дарвин, Леонард Фукс, Николай Вавилов, Иван Мичурин.

Введение

Среди естественных наук, изучающих живую природу, особое место занимает ботаника. Эта наука позволила исследовать мир растений, особенностей их развития. Изучению истории появления ботаники, ее разделов и вкладу ученых в развитие ботаники посвящено настоящее исследование.

Цель данной статьи — изучить историю выделения ботаники в отдельную науку и вклад наиболее известных учёных в процесс ее развития.

Задачи:

- изучить понятие ботаника, разделы ботаники,
- найти информацию об известных учёных.

Методы исследования: анализ и синтез.

В нашем мире множество древнейших наук — медицина, астрономия, математика и другие, и все они связаны между собой. Ведь все вместе знания этих наук отражают единую картину мира. Планета Земля имеет большое многообразие организмов, и исходя из этого каждая естественная наука изучает свою материю и свой предмет. В эти науки входит и биология, которая изучает биоматерию.



Рис. 1. Объекты и методы изучения биологии (иллюстрации взяты из открытых источников)

Учёные считают, что биология выделилась из естественных наук в 19 веке. Случилось это из-за того, что в процессе исследований у живых организмов стали вычленять признаки, не характерные для неживой природы. Биология стала отдельной наукой. Однако изучением живых организмов, растений, животных занимались ещё в Древнем Риме. Одним из первых к изучению биологии приступил философ Аристотель, а за ним и учёный Гален.

Аристотеля считают основоположником науки биологии и именно его труды помогли дальнейшему ее развитию. Аристотель смог распределить животных на две группы: кровяные и бескровные. Сейчас кровяных называют позвоночными, а бескровных беспозвоночными. Этот великий учёный изучил систему размножения и описал её. Аристотель смог составить природную цепочку от неорганических веществ через растения и животных к человеку. Философ дал самое первое определение понятия жизни. На тот момент Аристотель очень помог изучению биологии, но в наше время некоторые выводы этого учёного признаны ошибочными. Помимо Аристотеля мно-

гие ученые внесли вклад в развитие биологии, кроме того, её развитию содействовали открытия в смежных науках.

Например:

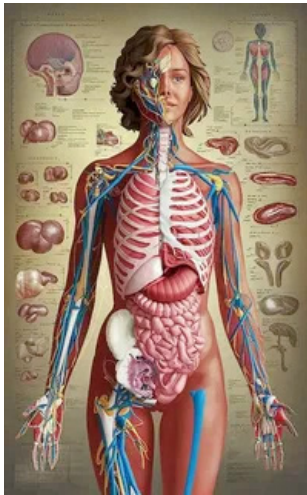
1. Были обнаружены новые виды растений и животных благодаря географическим открытиям.
2. За счёт изобретённого микроскопа смогли увидеть и описать мир микроорганизмов.
3. В 18 веке Карл Линней разработал систематику классификации живых организмов. Его труды положили начало биологической систематике.
4. Чарльз Дарвин создал всем известную научную теорию о том, как происходило развитие живых организмов на Земле. В ней говорится, что не все виды растений и животных созданы навсегда. Они постепенно меняются под влиянием естественного отбора.
5. К 20 веку Грегор Мендель стал развивать генетику и положил начало теории наследственности. В дальнейшем это привело к образованию науки генетики.
6. В 1953 году случился важный момент в науке. Джеймс Уотсон и Франсис Крик открыли структуры ДНК. Впоследствии это расширило знания в сфере молекулярной биологии и живой природы.

В настоящее время принято следующее определение понятия науки биология — это естественная наука о природе, живых существах, взаимодействии живых организмов с окружающей средой и их строении. Эта наука изучает рост, структуру, происхождение и развитие живых

организмов на Земле. Кратко можно сказать, что биология — это наука обо всём живом.

Биология делится на различные разделы, все они изучают живую природу, но под разными ракурсами. В биологию входят: зоология, ботаника, анатомия, экология.

Таблица 1. Разделы биологии

Зоология	Ботаника	Анатомия	Экология
Занимается изучением животных	Наука о растениях	Изучает строение и расположение органов человека	Изучает, как устроена природа
			

Рисунки взяты из открытых источников.

Все разделы, показанные в таблице, интересны и познавательны, но в сегодняшней статье исследуем появление раздела биологии — ботаники. Слово ботаника образовалось от древнегреческого βωτανικός — «относящийся к растениям», от βότανη — «травя, растение». Ботаника появилась в Древней Греции. Основателем этой науки считается ученик Аристотеля Теофраст (5–3 века до н. э.). Его называют «отцом ботаники». Эта наука изучает внутреннее и внешнее строение растений, а также их рост, жизнедеятельность, размножение, развитие и взаимодействие с окружающей средой.

В ботанике также есть свои разделы:

1. Морфология растений — это интересный раздел ботаники, в котором происходит изучение структуры растений, работы разных частей растений. Например, учёные говорят, что цветок словно сложный механизм, в котором более мелкие детали выполняют свои задачи.

2. Экология растений — это нужный раздел в ботанике, который изучает взаимодействие и взаимосвязи между средой обитания и растениями, а также механизмы адаптации растений в той или иной среде. Эта наука связана с биологией и играет важную роль в сфере экологии.

3. Эмбриология растений — это наука о том, как зарождаются новые вегетативные организмы (растительные организмы).

4. Генетика растений — это дисциплина ботаники, которая изучает закономерности изменчивости и наследственности растений. Развитие генетики растений прошло три этапа. Первый этап — классический. Связан этот период с Грегори Менделем, который сформулировал за-

коны единообразия и независимого наследования признаков. Его труды стали основой для всей генетики. Вторым этапом — это цитогенетический. Основным вкладом в его развитие внес Морган и его школа. Третий этап назвали молекулярно-генетическим. Этот этап — прорыв в молекулярной биологии. На данный момент генетика выступает в качестве основы биологии и ботаники.

5. Физиология растений (от греч. φύσις — природа и λόγος — учение), фундаментальная биологическая наука, изучающая процессы, происходящие в растительном организме на всех уровнях организации живой материи (молекулярном, субклеточном, клеточном, органном, организменном, популяционном, биогеоэкологическом и биосферном). [7]

6. Систематика растений — это раздел ботаники, в котором учёные описывают растения. Систематика является необходимым разделом в ботанике. Ведь именно она устанавливает связи между растениями и, что не менее важно, систематика распределяет растениям названия (для всех стран).

Растения играют важную роль в жизни человека, поэтому люди на протяжении веков старались изучить их свойства, особенности развития, полезность. Многие исследователи посвятили свои труды изучению мира растений. В античный период греческий врач Педаний Диоскорид (40–90 года н. э.) написал про 600 видов растений с лечебными свойствами и описал 1000 медицинских препаратов. Диоскорид предложил распределить растения на 4 группы: благовонные, медицинские, пищевые и винодельные. Педаний Диоскорид искоренил неразбериху

в названиях растений и представил варианты приготовления лекарств. Примерно в то же время учёный Плиний Старший собрал в книге 1000 растений и дал им более подробное описание. В 6 веке н. э. учёный Александр из Тралл написал двенадцать книг о болезнях тела человека. Его книги сыграли важную роль в разработке методики лечения в средние века. Таким образом, именно учёные античного периода сделали первые шаги и заложили фундамент ботаники.

В эпоху Возрождения и Нового времени ботаника как наука стала более последовательной, стали применяться такие методы, как опыты и исследования. Один из учёных того времени — немецкий медик и ботаник Леонард Фукс. Позже Леонарда стали называть одним из «от-

цов ботаники». Леонард Фукс опубликовал в 1542 году труд «Описание растений», который стал очень важным в развитии ботаники. В книге представлено детальнейшее изображение и описание растений (примерно 400 видов) в алфавитном порядке, к описанию растений прилагается специальный словарь ботанических терминов.

Ещё один важный человек в истории ботаники — это итальянский врач и ботаник Андреас Чезальпино. В 1583 году он выпустил книгу «О растениях». В ней он описал новую классификацию растений. С этого момента помимо деления растений на кустарники, деревья и травы, стали выделять такие части растений, как семена, плоды и цветки.



Рис. 2. Изображение Леонарда Фукса
(Фото взято из открытых источников)



Рис. 3. Картина Андреаса Чезальпино
(Фото взято из открытых источников)

В 16 веке швейцарский ботаник и анатом Каспар Баугин написал работу «Новая универсальная история растений». В ней Баугин описал примерно 5000 видов растений.

Были учёные и биологи, которые не только писали труды и учебники, но и проводили опыты. В 1629 году Ян Баптист ван Гельмонт провел известный опыт с ивой. Ван Гельмонт взял бочку с почвой и посадил туда деревце ивы. Спустя пять лет он понял, что масса почвы незначительно уменьшилась, а масса ивы увеличилась. Ван Гельмонт пришёл к заключению, что растения получают питание для роста из воды, а почва не так важна. Этот опыт был в числе первых опытов в физиологии растений. На тот момент это было важно для ботаники и её развития, как науки. Позже в 1661 году физик из Англии Роберт Бойль повторил точно такой же эксперимент только с тыквой и во второй раз доказал, что источник роста растений — это вода. Сейчас современные учёные доказали, что Ван Гельмонт и Роберт Бойль сделали вывод неполным, потому что они не взяли в расчёт углекислый газ, необходимый для фотосинтеза.

Весомый вклад в развитие ботаники внесли и российские учёные. Очень известный и важный человек в истории ботаники — Иван Мичурин (1855–1935 гг.). Он являл-

ся доктором биологических наук. Мичурин разработал 300 новых сортов, овощных, плодовых, цветочных растений, а именно: яблони, груши, вишни, черешни и сливы. Благодаря этому человеку сады в нашей стране заиграли яркими красками. Мичурин занимался инженерией с живыми объектами. Иван Мичурин разрабатывал новые селекционные методы и создавал из теплолюбивых сортов (которые приносят урожай в теплом климате) другие сорта, способные приносить плоды в более холодном климате. Публиковать результаты своих исследований Иван Владимирович стал после 50 лет и за несколько лет он завоевал известность в России и за её пределами. Люди отмечали уникальные способности Мичурина. Он умел словно разговаривать с растениями и понимать какие из них удачные. Иван Мичурин разработал удивительные методики. Например, Мичурин высаживал гибриды на плодородных почвах и через некоторое время понял, что плодородные почвы делают растения «избалованными». После Иван Владимирович стал пересаживать их на более бедные земли, чтобы растение пыталось выживать. При помощи этого метода Мичурин создавал новые сорта, которые спокойно росли и давали урожай на холоде, а также были привычны к засухам и болезням. Свой приём Иван

Мичурин назвал «спартанское воспитание». В 1898 году в стране вымерзли все старые сорта вишни, но у Мичурина вишня осталась цела. Это доказывало, что методы Ивана Владимировича работали.

Значительный вклад в развитие ботаники внес Николай Иванович Вавилов. Это феноменальный учёный, который изменил науку. Именно Вавилов открыл путь селекции и генетике растений, став их основателем. За всю свою карьеру Николай Вавилов изучил множество новых растений по всему миру и посетил пять континентов. Он собрал множество информации про растения, искал какие представители флоры более благополучно приживутся в СССР. Вавилов смог выявить особенности выращивания растений, сделал вывод об инфекционных заболеваниях растений. Николай Иванович Вавилов является создателем крупнейшей в мире коллекции семян культурных растений и их диких сородичей. В этом наборе насчитывается 250 тысяч образцов семян. Коллекция стала самым первым во всём мире банком генов. Коллекция Вавилова оказалась основой для селекционных работ.

Ботаника — это очень интересная и полезная наука, которая развивалась благодаря исследованиям многих учёных. Их вклад выражается в развитии селекции, создании классификации и изучении физиологии растений. В настоящее время учёные и специалисты продолжают развивать биологию. Они выводят идеи на новые уровни, создают новые сорта, познают растения с помощью биоинформатики, дронов и космоса. Современные специалисты осуществляют новые прорывы в биологии, но всё это основано на открытиях их предшественников.



Рис. 4. Картина Ивана Мичурина
(Картина взята из открытых источников)

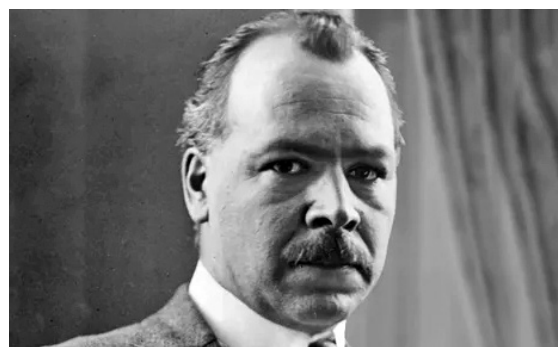


Рис. 5. Фото Николая Вавилова
(Фото взято из открытых источников)

ЛИТЕРАТУРА:

1. Большая советская энциклопедия. В 30 томах
2. Кошель П. А. Летопись биологических открытий // Журнал «Биология». 2004. № 21 (748). https://bio.1sept.ru/view_article.php?ID=200402107
3. О. К. Гогаев П. З. Козаев Д. П. Козаева. Генетика растений: Практикум. — ФГБОУ ВО Горский ГАУ, 2025
4. Шаповалова А. А. Экология растений: Учеб.-метод. пособие. Саратов: Изд-во «Саратовский источник», 2015. — 80 с.
5. <https://www.osnmedia.ru/1000/nikolaj-vavilov/>
6. <https://www.gazeta.ru/science/news/2025/04/13/25544204.shtml>
7. https://bigenc.ru/wiki/Физиология_растений

Выпускающий редактор Г. А. Письменная
Ответственные редакторы Е. И. Осянина, О. А. Шульга, З. А. Огурцова
Художник Е. А. Шишков
Подготовка оригинал-макета О. В. Майер

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна.
Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал размещается и индексируется на портале eLIBRARY.RU, на момент выхода номера в свет журнал не входит в РИНЦ.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77–61102 от 19 марта 2015 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый».
420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25, пом. 1, 3, 4, 5, 6.
Номер подписан в печать 18.09.2026. Дата выхода в свет: 21.09.2026.
Формат 60 × 90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

Почтовый адрес редакции: 420140, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Юлиуса Фучика, д. 94А, а/я 121
Фактический адрес редакции: 420029, Республика Татарстан, г. Казань,
ул. Академика Кирпичникова, д. 25, пом. 1, 3, 4, 5, 6.
E-mail: info@moluch.ru; <https://moluch.ru/>
Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», Республика Татарстан, г. Казань,
ул. Академика Кирпичникова, д. 25, пом. 1, 3, 4, 5, 6.