

ISSN 2222-8772

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
СТРУКТУРЫ
И
МОДЕЛИРОВАНИЕ

№ 3(63)
2022



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Ф.М. ДОСТОЕВСКОГО»**

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
СТРУКТУРЫ
И
МОДЕЛИРОВАНИЕ**

№ 3 (63)

Омск
2022

Редакционная коллегия

А. К. Гуц	главный редактор, председатель редакционной коллегии, доктор физ.-мат. наук, профессор, Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского.
Д. Н. Лавров	зам. глав. редактора, канд. техн. наук, доцент, проректор по информационным технологиям, зав. каф. компьютерных технологий и сетей, Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского.
Н. Ф. Богаченко	технический редактор, зам. глав. редактора, канд. физ.-мат. наук, доцент, Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского.
В. П. Голубятников	доктор физ.-мат. наук, профессор Новосибирского государственного университета, главный научный сотрудник Института математики СО РАН, г. Новосибирск.
С. И. Горлов	доктор физ.-мат. наук, профессор, ректор Нижневартковского государственного университета.
А. Г. Гринь	доктор физ.-мат. наук, профессор, кафедра кибернетики, Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского.
В. А. Еровенко	доктор физ.-мат. наук, профессор, кафедра общей математики и информатики, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь.
B. Zilber	Dr.Sc. (Phys.-Math.), Professor of Mathematical Logic, Mathematical Institute, University of Oxford, UK.
А. Н. Кабанов	канд. физ.-мат. наук, кафедра кибернетики, Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского.
А. В. Копыльцов	доктор техн. наук, профессор, кафедра информационных систем, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина).
А. Г. Коробейников	доктор техн. наук, профессор, зам. директора по науке Санкт-Петербургского филиала Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН.
П. А. Корчагин	доктор техн. наук, профессор, проректор по научной работе, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), г. Омск.
V. Kreinovich	Ph.D. (Phys.-Math.), Professor, Computer Science Department, University of Texas at El Paso, Texas, USA.
В. А. Плетюхов	доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры общей и теоретической физики Брестского государственного университета им. А. С. Пушкина, г. Брест, Республика Беларусь.
Л. Б. Соколинский	доктор физ.-мат. наук, профессор, проректор по информатизации, зав. кафедрой системного программирования, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск.
A. A. Fedorenko	Ph.D. (Phys.-Math.), Researcher (CR1) at the French National Centre of Scientific Research (CNRS) Laboratoire de Physique de l'ENS-Lyon, France.
А. Н. Фирсов	доктор техн. наук, профессор, Высшая школа киберфизических систем и управления, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.
A. Jadczyk	Ph.D., Professor, Researcher, Laboratoire de Physique, Universite de Toulouse III et CNRS, France.

Учредитель

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«Омский государственный университет
им. Ф. М. Достоевского».
Свидетельство о регистрации средства
массовой информации ПИ № ФС77-72200
от 15 января 2018 г. выдано Роскомнадзором.

Адрес редакции, издателя и типографии

644077, Омская обл., г. Омск,
пр-т Мира, д. 55а.

Дата выхода в свет: 01.11.2022.

Тираж 25 экз.

Свободная цена.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Журнал основан в 1998 году. В журнале публикуются статьи, в которых излагаются результаты исследований по фундаментальной и прикладной математике, теоретической физике, компьютерным наукам, философии и истории математики и информатики, а также размышления, касающиеся окружающей нас природы и общества. Объекты исследования должны быть представлены в форме некоторых математических структур и моделей.

Все статьи журнала проходят обязательное рецензирование. Рефераты статей журнала опубликованы в «Реферативном журнале» и «Mathematical Reviews» (США). Журнал индексируется в РИНЦ (elibrary.ru) и «Zentralblatt für Mathematik» (Германия). Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание учёных степеней (Приказ Минобрнауки России от 25 июля 2014 г. № 793).

Все статьи в журнале публикуются под лицензией Attribution 4.0 International (CC-BY).

Электронная версия журнала представлена в сети:

<http://msm.univer.omsk.su>

<http://msm.omsu.ru>

Подписной индекс по каталогу «Пресса России»: 94082

Электронная почта главного редактора:

aguts@mail.ru

Электронная почта выпускающего редактора:

lavrov@omsu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Фундаментальная математика и физика

- А.Д. Больбот, Н.С. Астапов. *Часы и вероятность* 5
- И.А. Болдов. *Масса как геометрия пространства* 12
- А.К. Гуц. *Философский семинар математиков Омского государственного университета* .. 24
- О. Kosheleva, V. Kreinovich. *Physical Trajectories Are Smooth, with Velocities at Least As Continuous As Brownian Motion* 28

Прикладная математика и моделирование

- С.П. Баутин, С.Н. Кононов, Э.С. Левунина. *Численное моделирование течений в восходящих закрученных потоках с использованием разностной схемы* 32
- А.В. Блохин, А.С. Грицай, А.Ю. Горшенин. *Исследование факторов, влияющих на потребление электроэнергии коммерческим предприятием* 39
- А.Ю. Горшенин, А.В. Блохин, И.О. Щука. *Анализ характеристик ветроэлектростанций и метеоусловий влияющих на энерговыработку* .. 48
- А.В. Еремеев, Н.Н. Тюнин. *Алгоритм дифференциальной эволюции для оптимизации направленности фазированных антенных решеток* 57
- Т.В. Костеннов. *Применение методов системного анализа к построению структурно-функциональной схемы тепличной системы* .. 69
- О.А. Терентьева. *Программные продукты для решения задач моделирования (оптимального управления) противоборствующих объектов, участвующих в конфликтной ситуации* 79
- О. Kosheleva, V. Kreinovich. *Why Rejuvenation Attempts Often Lead to Cancer and Why Cyclic Rejuvenation Is Better: A Simple Qualitative Explanation* 87

Продолжение на следующей странице

Наши публикации



Образование

А.К. Гуц. *Будущие физические теории содержатся в философских текстах* 93

В.А. Еровенко, В.А. Прокашева. *Методические функции примеров и контрпримеров в когнитивно-рефлексивном стиле понимания высшей математики* 97

Некрологи

Геннадий Андреевич Носков (1950–2022) 101

Андрей Николаевич Фирсов (1949–2022) 103

ЧАСЫ И ВЕРОЯТНОСТЬ

А.Д. Больбот¹

к.ф.-м.н., доцент, e-mail: a.bot@ngs.ru

Н.С. Астапов^{1,2}

к.ф.-м.н., доцент, e-mail: nika@hydro.nsc.ru

¹Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

²Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск, Россия

Аннотация. Получено точное решение вероятностной задачи о случайном положении секундной стрелки на циферблате часов. Доказано, что секундная стрелка чаще оказывается ближе к минутной, чем к часовой стрелке. В доказательстве используется равенство единице некоторой конечной суммы для произвольных двух взаимно простых чисел (лемма о лишней единице).

Ключевые слова: часы со стрелками, вероятность, взаимно простые числа.

В [1] показывается, что из всех областей науки математика случайного особенно богата парадоксами, и приводятся многочисленные подтверждающие примеры, возникшие за несколько веков. В [2] критикуется современный подход к преподаванию теории вероятностей и разбираются ошибочные формулировки и решения задач в популярных учебных изданиях. Ниже формулируется условие и приводится решение вероятностной задачи, для которой простой, казалось бы очевидный ответ оказывается верным лишь приближенно.

Представим себе часы с центральной секундной стрелкой, все стрелки которых движутся равномерно, и спросим:

какова вероятность того, что секундная стрелка находится ближе к минутной, чем к часовой в случайный момент времени?

На сформулированный вопрос многие, не задумываясь, ответят: "Ну конечно же одна вторая" — и практически не ошибутся, потому что вероятность очень близка к одной второй, но всё же слегка от неё отличается. Отметим, что похожие задачи можно найти в [3], см. № 26, № 31, № 36. Чтобы разобраться в этом вопросе, проведём сначала мысленный эксперимент с часами, у которых скорости движения стрелок отличаются не так сильно. Пусть, например, минутная стрелка движется вдвое быстрее часовой и вдвое медленнее секундной. Когда часовая стрелка проходит точки $\frac{1}{5}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{3}{5}$ и $\frac{4}{5}$, происходят переключения событий ближе-дальше. Эти 4 момента вместе с точкой 0 делят круг на 5 секторов: в первом, третьем и пятом секторе секундная стрелка расположена ближе к минутной, а в остальных двух секторах — к часовой. На рисунке 1 первые

три сектора отмечены знаком плюс, а оставшиеся два сектора — знаком минус. Это означает, что $\frac{3}{5}$ времени часовая стрелка находится в плюсовой области,

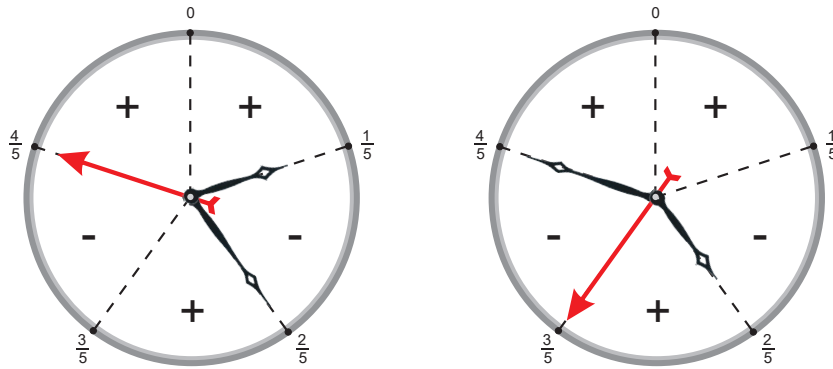


Рис. 1. Часы со стрелками

то есть искомая вероятность равна 0,6. Итак, мы убедились, что вероятность **может** быть отличной от одной второй.

На рисунке видно, что в четырёх точках переключения секундная стрелка проходит через биссектрису угла (тупого или острого) между часовой и минутной стрелками. Однако в точке 0 секундная стрелка тоже проходит через биссектрису угла (нулевого) между часовой и минутной стрелками, но переключения в этой точке нет. Почему? Объяснение очень простое — в этот момент происходит ещё одно переключение, которое и гасит первое. А именно, в этот момент минутная стрелка проходит через часовую. Переключения этого типа в чистом виде можно видеть на примере часов со скоростями 1,4 и 8 для часовой, минутной и секундной стрелок соответственно. Действительно, если часовая стрелка показывает на точку $\frac{1}{3}$, то минутная стрелка, сделав один полный оборот, совпадёт с часовой, а секундная покажет на точку $\frac{2}{3}$. Тогда незадолго до этого момента секундная стрелка была ближе к часовой, а после — ближе к минутной стрелке. Аналогичное переключение происходит и в точке $\frac{2}{3}$. На реальных 12-часовых часах с соотношением скоростей стрелок $1 : 12 : 720$ такие переключения наблюдаются в точках $\frac{k}{11}$, $k = 1, 2, \dots, 10$.

Оставим на время часы и рассмотрим следующую задачу. Для неравных натуральных чисел p и q возьмём два семейства точек, разбивающих интервал, назовём его основным, соответственно на p и q равных частей. Точку разбиения назовём простой, если она входит только в одно семейство и двойной — если в оба. Ясно, что двойные точки внутри интервала могут быть только в случае, если p и q не взаимно просты. Каждому интервалу, заключённому между двумя соседними точками деления, сопоставим знак плюс или минус следующим образом. Первому интервалу (от нуля до первой точки деления) сопоставим знак плюс. Дальнейшим интервалам приписываем знаки согласно правилу: соседним интервалам сопоставляем разные знаки, если их разделяет

простая точка, и одинаковые знаки, если точка двойная. Нас будет интересовать вероятность $P_{p/q}^+$ (или $P_{p/q}^-$) попадания точки в положительную (или отрицательную) часть промежутка при её случайном бросании в промежуток. Ясно, что $P_{p/q}^+$ и $P_{p/q}^-$ будут суммами длин соответственно положительных и отрицательных интервалов, если в качестве основного интервала взять $(0; 1)$. Заметим, что вероятности не изменятся, если принять другую длину основного интервала, тогда эти суммы следует поделить на длину интервала. Поэтому, в зависимости от удобства будем в качестве основного интервала использовать интервалы разной длины.

Сравним наши вероятности при удвоении параметров p и q . Заметим, что точки разбиения расположены симметрично относительно середины промежутка. Поскольку в случае удвоенных параметров p и q точка $\frac{1}{2}$, то есть середина основного интервала $(0; 1)$, будет двойной точкой деления, то знаки интервалов, расположенных симметрично относительно середины, будут одинаковы. Поэтому $P_{2p/2q}^+ = P_{p/q}^+$. Прделав достаточное число раз обратные преобразования (то есть сокращения на два), получим $P_{p/q}^+ = P_{p'/q'}^+$, где хотя бы одно из чисел p' и q' нечётно.

Пусть p и q имеют разную чётность. В этом случае точка $\frac{1}{2}$, то есть середина основного промежутка $(0; 1)$, входит лишь в одно семейство точек деления, следовательно симметричные относительно середины интервалы имеют разные знаки. Поэтому $P_{p/q}^+ = P_{p/q}^- = \frac{1}{2}$.

Осталось рассмотреть случай нечётности обоих параметров. Пусть $d = (p, q)$ — наибольший общий делитель чисел p и q . Положим $p = dp'$, $q = dq'$. Тогда весь отрезок разобьётся на d частей с одинаковым расположением точек деления, где каждая следующая часть получается из предыдущей сдвигом $x \rightarrow x + \frac{1}{d}$. В силу взаимной простоты чисел p' и q' внутри каждой части двойных точек нет, следовательно внутри этой части знаки интервалов разбиения чередуются, начинаясь и заканчиваясь знаком плюс, в силу нечётности их количества. Поэтому $P_{p/q}^+ = P_{p'/q'}^+$. Из полученных свойств следует, что индекс p/q можно сокращать как дробь, без изменения вероятности.

Разберём оставшийся случай. Пусть нечётные числа p и q взаимно просты. В этом случае все точки деления простые. Теперь в качестве основного интервала удобно взять $(0; pq)$, тогда точки деления станут целыми:

$$p, 2p, \dots, (q-1)p, \quad \text{и} \quad q, 2q, \dots, (p-1)q.$$

Рассмотрим величину $\sigma(t) = (-1)^{[\frac{t}{p}] + [\frac{t}{q}]}$, она меняет знак только в точках, кратных p и q промежутка $(0; pq)$. Следовательно, каждому интервалу $(k; k+1)$ между последовательными точками деления сопоставится знак $\sigma(k)$. Суммируя длины всех таких промежутков с учётом их знака и поделив на длину промежутка, находим равенство $P^+ - P^- = \frac{1}{pq} \sum_{k=0}^{pq-1} \sigma(k)$, где индекс p/q для краткости здесь и далее не указываем, так как он фиксирован. Поскольку $P^+ + P^- = 1$,

то отсюда получим равенство

$$P^+ = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{pq} \sum_{k=0}^{pq-1} \sigma(k) \right), \quad P^- = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{pq} \sum_{k=0}^{pq-1} \sigma(k) \right)$$

Лемма о лишней единице. Пусть p и q — взаимно простые нечётные числа. Тогда справедливо равенство

$$\sum_{k=0}^{pq-1} (-1)^{\left[\frac{k}{p}\right] + \left[\frac{k}{q}\right]} = 1.$$

Доказательство. Разделив k с остатками на p и на q получим

$$k = p \left[\frac{k}{p} \right] + r_k, \quad 0 \leq r_k \leq p-1.$$

$$k = q \left[\frac{k}{q} \right] + s_k, \quad 0 \leq s_k \leq q-1.$$

Заметим, что отображение $k \rightarrow (r_k, s_k)$ инъективно на множестве $k \in \{0, 1, \dots, pq-1\}$. Действительно, пусть для некоторых k и k' остатки одинаковы:

$$k' = p \left[\frac{k'}{p} \right] + r_k = q \left[\frac{k'}{q} \right] + s_k.$$

Но тогда разность $k - k'$ делится на p и q . В силу взаимной простоты чисел p и q эта разность делится на pq , что возможно только при $k = k'$. Инъективность можно доказать и с помощью китайской теоремы об остатках [4, с. 50]

Таким образом, когда k пробегает последовательность $k \in \{0, 1, \dots, pq-1\}$, последовательность (r_k, s_k) пробегает всё множество пар

$$\{(i, j); i = 0, 1, \dots, p-1, j = 0, 1, \dots, q-1\}.$$

Так как p и q нечётные, то

$$(-1)^{\left[\frac{k}{p}\right] + \left[\frac{k}{q}\right]} = (-1)^{p\left[\frac{k}{p}\right] + q\left[\frac{k}{q}\right]} = (-1)^{k - r_k + k - s_k} = (-1)^{r_k + s_k}.$$

Поэтому справедливо равенство

$$\sum_{k=0}^{pq-1} (-1)^{\left[\frac{k}{p}\right] + \left[\frac{k}{q}\right]} = \sum_{k=0}^{pq-1} (-1)^{r_k + s_k} = \sum_{i=0}^{p-1} \sum_{j=0}^{q-1} (-1)^{i+j} = \left(\sum_{i=0}^{p-1} (-1)^i \right) \cdot \left(\sum_{j=0}^{q-1} (-1)^j \right) = 1.$$

Лемма доказана.

Из леммы следуют равенства

$$P^+ = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{pq} \right), \quad P^- = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{pq} \right).$$

Применим данное рассмотрение к следующей ситуации. Два объекта A и B начинают двигаться одновременно из одной и той же точки в одном направлении по круговой дистанции с отношением скоростей, равной несократимой дроби $\frac{p}{q} > 1$. Длину круговой дистанции выберем за единицу длины. Отношение времени, за которое каждый объект проходит полный круг, обратно пропорционально его скорости, поэтому за счёт выбора единицы времени можно считать, что скорости объектов A и B равны соответственно $\frac{1}{q}$ и $\frac{1}{p}$. Это означает, что объект A проходит полный круг за q , а B — за p единиц времени. Впервые после старта они встретятся на месте старта через pq единиц времени.

Какова будет вероятность того, что в выбранный случайно момент времени из промежутка $(0, pq)$ объект A будет находиться ближе к объекту B , чем к месту старта?

Если объект A находится ближе к объекту B , чем к месту старта в некоторый момент, то этому моменту и точке, в которой находится объект B , припишем знак плюс. Если, наоборот, дальше, то — знак минус. Точки и моменты, в которых указанные расстояния равны, назовём точками и моментами переключения. Имеем два типа точек переключения

1) Объект B проходит место старта.

2) Объект A находится в средней точке между B и местом старта на большей или меньшей дуге между точкой B и местом старта.

Так как объект B проходит место старта в моменты kp , $k = 0, 1, 2, \dots$, то моменты первого типа разбивают временной промежуток $(0; pq)$ на q равных частей.

Пусть теперь $t \in (0, pq)$ — момент переключения второго типа. Вместе с объектом B отправим по кругу объект M с половинной скоростью $\frac{1}{2p}$. Тогда к моменту переключения второго типа объекты A и M пройдут соответственно расстояния $\frac{t}{q}$ и $\frac{t}{2p}$. В точке переключения второго типа это означает равенство $\frac{t}{q} - \frac{t}{2p} = \frac{k}{2}$ при целом k . Отсюда $t = \frac{kpq}{2p-q}$, $k \in \mathbb{N}$. Эти моменты разбивают временной интервал $(0; pq)$ на $2p - q$ равных частей.

Таким образом, мы получили разбиение временного интервала двумя семействами точек. Поэтому, как показано выше, искомая вероятность равна $P_{2p-q/q}^+$.

Если q нечётно, то $2p - q$ тоже нечётно и взаимно просто с q . В таком случае, $P_{2p-q/q}^+ = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{q(2p-q)} \right)$.

Пусть q чётно, но не делится на 4. Тогда p нечётно, поэтому сокращение индекса возможно только на 2 и в этом случае его числитель окажется чётным. Следовательно, в таком случае $P_{2p-q/q}^+ = \frac{1}{2}$. Если же q делится на 4, сокращение индекса возможно также только на два, и тогда знаменатель останется чётным. Следовательно, вероятность опять будет равна $\frac{1}{2}$. Таким образом, при чётном q вероятность $P_{2p-q/q}^+ = \frac{1}{2}$.

Объектами A и B могут быть, например, спортсмены на круговой дистанции, стартовавшие одновременно из одной точки в одном направлении. Жаль спортсменов, так как в случае больших числителей и знаменателей, им придётся долго бегать, прежде чем они встретятся в месте старта, а в случае иррационального отношения скоростей этого не случится никогда. Заменим

их планетами, двигающимися по концентрическим круговым орбитам в одном направлении с неравными постоянными угловыми скоростями и рассмотрим случай иррационального отношения $\alpha > 1$ этих скоростей. Здесь возникает проблема выбора промежутка, в котором выбирается случайный момент, ведь на бесконечном промежутке выбор этой случайной величины не может быть равномерным. Выбрав момент, когда планеты окажутся на одном луче, выходящем из центра, получим луч, от которого планеты стартуют одновременно. Остаётся проблема с заключительным моментом, ведь на выбранном луче в иррациональном случае ситуация не повторится никогда. Однако повтор ситуации можно создать за счёт выбора рационального приближения числа α со сколь угодно высокой степенью точностью. Вычислив предел вероятности для этого рационального приближения, перейдём к пределу при стремлении точности приближения к нулю. Возникает вопрос: существует ли этот предел?

Покажем, что предел существует и равен $\frac{1}{2}$. Действительно, пусть $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{p_n}{q_n} = \alpha$, где $\frac{p_n}{q_n}$ — последовательность различных несократимых дробей. Можно при этом считать, что знаменатели нечётны. Поскольку последовательность $\frac{p_n}{q_n}$ фундаментальна, то, выбрав произвольно $\varepsilon > 0$, найдём такой номер n_0 , что

$$n > m \geq n_0 \Rightarrow \left| \frac{p_n}{q_n} - \frac{p_m}{q_m} \right| < \varepsilon$$

Фиксируя в неравенстве $m = n_0$, получим

$$0 < \frac{1}{q_{n_0} q_n} \leq \frac{|p_n q_{n_0} - q_n p_{n_0}|}{q_{n_0} q_n} < \varepsilon.$$

Поэтому $q_n \rightarrow \infty$. Следовательно

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_{2p_n - q_n/q_n}^+ = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{(2p_n - q_n)q_n} \right) = \frac{1}{2}.$$

Завершая, ответим на вопрос, поставленный в начале. На часах с 12-часовым циферблатом стрелки движутся со скоростями с соотношением $1 : 12 : (12 \cdot 60)$ соответственно для часовой, минутной и секундной стрелок. Перейдём в систему отсчёта часовой стрелки. Тогда часовая стрелка будет стоять на месте и служить местом старта, а минутная и секундная стрелки станут объектами B и A с отношением скоростей $\frac{12 \cdot 60 - 1}{11} = \frac{719}{11}$. В силу несократимости этой дроби и нечётности знаменателя, получим искомую вероятность

$$P_{1427/11}^+ = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{11 \cdot 1427} \right) = \frac{1}{2} + \frac{1}{31394},$$

Это означает, что в течение 12 часов секундная стрелка находится ближе к минутной, чем к часовой приблизительно на 2,75 секунды дольше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Секей Г. Парадоксы в теории вероятностей и математической статистике. М. : Мир, 1990. 240 с.

2. Виноградов О.П. Теория вероятностей и ЕГЭ // Математическое образование. 2020. Т. 94, № 2. С. 29–31.
3. Эвнин А.Ю., Лернер Э.Ю., Игнатов Ю.А., Григорьева И.С. Задачи по теории вероятностей на студенческих олимпиадах // Математическое образование. 2017. Т. 84, № 4. С. 45–60.
4. Айерлэнд К., Роузен М. Классическое введение в современную теорию чисел. М. : Мир, 1987. 427 с.

THE HOUR AND PROBABILITY

A.D. Bolbot¹

Ph.D. (Phys.-Math.), Associate Professor, e-mail: a.bot@ngs.ru

N.S. Astapov^{1,2}

Ph.D. (Phys.-Math.), Associate Professor, e-mail: nika@hydro.nsc.ru

¹Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

²Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk, Russia

Abstract. The exact solution of the probabilistic problem about the random position of the second hand on the dial hours is obtained. It has been proven that the second hand is often closer to the minute hand than to the hour hand. In this proof equality to one for some finite sum for any two coprime numbers (the extra one lemma) is used.

Keywords: clock with arrows, probability, coprime numbers.

Дата поступления в редакцию: 07.05.2022

МАССА КАК ГЕОМЕТРИЯ ПРОСТРАНСТВА

И.А. Болдов

исследователь, e-mail: ilboldov@yandex.ru

ООО «Ладожское», пос. Вимовец, Краснодарский край, Россия

Аннотация. В работе показано, что нет принципиальных запретов на использование в физике микромира законов и понятий макромира. Сделано предположение, что энергия связи в атомных ядрах (дефект массы нуклонов) и появление сил удерживающих протоны и нейтроны в ядре не являются причиной и следствием. Высказана гипотеза, что исходя из внутреннего распределения кулоновских зарядов внутри нуклонов, кварки могут иметь не дробные, а целые заряды, и в таком случае в качестве кварков могут быть лептоны. Также наглядно показано, что сущность массы как физического явления в N -мерном пространстве есть следствие её протяжённости в $N + 2$ -пространстве, которая и обуславливает гравитационные и инерциальные проявления массы. Введено понятие «Плотность вакуума», которое может быть аналогично популярному понятию «Тёмная материя». Высказана гипотеза, что наше трёхмерное пространство отделено от трёхмерного антипространства двумерной плоскостью.

Ключевые слова: элементарные частицы, трехмерное пространство, гравитация, масса.

Введение

Широкие исследования физики микромира в 20-м веке привели к созданию нового направления — Физики Элементарных Частиц (ФЭЧ). В её рамках была создана Стандартная Модель (СМ) — теоретическая конструкция, описывающая электромагнитное, слабое и сильное взаимодействие всех элементарных частиц. Современная формулировка СМ была завершена в середине 70-х годов после экспериментального подтверждения существования кварков. Открытие топ-кварка (1995), боттом-кварка (1977) и тау-нейтрино (2000) укрепило веру в правильность СМ. СМ не является теорией всего, так как не описывает тёмную материю, тёмную энергию и не включает в себя гравитацию. Экспериментальное подтверждение существования промежуточных векторных бозонов в середине 80-х годов завершило построение СМ и её принятие как основной и безальтернативной. Необходимость незначительного расширения модели возникла в 2002 году после обнаружения нейтринных осцилляций, а подтверждение существования бозона Хиггса в 2012 году завершило экспериментальное обнаружение предсказываемых Стандартной моделью элементарных частиц.

1. Первым из краеугольных положений ФЭЧ стал постулат о категорической неприменимости к физике микромира, понятий и законов макромира. Между тем, никто и никогда не давал обоснование некоему размеру, который разделяет микрофизику и макрофизику. Говоря о неприменимости к объектам микромира подходов и понятий макромира, физики-теоретики опираются или на зыбкое основание удобства неких математических формул, позволяющих согласовать наблюдаемое в экспериментах с придуманными конструкциями и гипотезами, либо возможностью наблюдения чего-либо современными инструментами и оборудованием.

Но очень часто в математике (особенно высшей) одна задача может быть решена несколькими способами, а технологии и оборудование физических экспериментов вообще в науке и в ФЭЧ имеют тенденцию к развитию. Таким образом, ни используемая математика, ни оборудование и технологии ФЭЧ, не дают обоснования к установлению некоего размера, отделяющего макрофизику от микрофизики. Отсутствие такой чётко обозначенной границы даёт возможность существования некоего размерного промежутка в пределах которого допустимо использовать приёмы и концепции и макро и микрофизики. Но попытки обосновать границы уже этой области опять не найдут теоретического обоснования. Таким образом, категорический запрет на использование для объектов микромира подходов и концепций описания объектов макромира ничем не обоснован. Следовательно, вполне допустимо рассматривать объекты микромира, оперируя концепциями макромира.

2. Вторым краеугольным камнем положений ФЭЧ стало смешивание онтологической сущности рассматриваемых явлений с математическим аппаратом их описывающим. Так например, для элементарных частиц, математический аппарат описывающий испускание и поглощение рассматривает их как дискретные частицы, а при движении частиц в пространстве как волновой процесс, что дало основание говорить о корпускулярно-волновом дуализме. Следуя этой логике, рассматривая колонну автомобилей, начавшую движение при загорании зелёного сигнала светофора, можно заметить, что этот процесс можно описать как некую волновую функцию, и сделать вывод о том, что автомобили есть волны. В рамках СМ есть две группы частиц с полуцелым спином. Это кварки и лептоны. Казалось бы зачем природе создавать две группы почти одинаковых частиц? Вполне можно составить и мезоны и барионы из лептонов с целыми электрическими зарядами. Но в СМ это считается невозможным, поскольку лептоны не участвуют в так называемом «сильном взаимодействии». Под этим термином принято считать возникновение сил удерживающих нуклоны в атомном ядре и дефект их массы, образующийся при этом. Через формулу $E = mc^2$ получается энергия «сильного взаимодействия» порядка 7–8 МэВ на нуклон.

Эти два явления принято считать причиной и следствием, поскольку происходят одновременно и одном локальном месте. Безусловно, одновременность

и локальность двух физических процессов является необходимыми условиями, для установления между ними причинно-следственной связи, но недостаточной. Вполне возможно, что эти два физических процесса являются следствиями третьего (а может быть четвёртого...).

Более того, данное утверждение в виде причинно-следственной связи, лёгшее в основу так называемого «сильного взаимодействия кварков», не соответствует критерию Поппера, поскольку его невозможно ни верифицировать, ни фальсифицировать, в силу придуманного конфаймента, т. е. невозможности экспериментально обнаружить кварки с нецелыми зарядами вне барионов, и наблюдать обмен ими нуклонами, как это объясняет СМ.

В качестве аналогии двух процессов происходящих и локально и одновременно: вспышка светового излучения и акустический удар наблюдаемые во время дождя. Их можно было бы считать причиной и следствием на ранних этапах изучения физических процессов. Но развитие физики и дальнейшее понимание сущности различных физических явлений выяснили, что оба этих физических эффекта есть следствия электрического разряда, вызванного ионизацией атмосферы, вызванной солнечным ветром и наличием у планеты магнитного поля Земли, которое есть следствие металлического ядра планеты...

Так и с удерживающими силами и дефектом массы. Они вполне могут быть не связанными, как причина и следствие, а раздельно проявлениями неких процессов отвергнутых СМ, или вообще не рассматриваемыми физикой ЭЧАЯ, но имеющими корреляцию. Тем более, что несмотря на почти столетнюю историю ядерной физики до сих пор нет формулы точного расчёта дефекта массы атомных ядер. Есть полуэмпирическая формула К. Вайцеккера, которая даёт сносную погрешность для тяжёлых ядер, большую для средних и неприменима к лёгким. Нежелание физиков заниматься выводением точной формулы обычно обосновывается тем, что атомное ядро представляет собой сложную квантовую (!) систему, расчёт которой невозможен. Хотя казалось бы для лёгких ядер, количество нуклонов в которых невелико, это может быть вполне решаемая задача, особенно средствами современной вычислительной техники.

Таким образом, можно поставить под сомнение существование так называемого «сильного взаимодействия», и рассматривать лептоны в качестве кварков с целыми электрическими и иными зарядами. Дополнительным аргументом для такого вывода является внутренняя структура нуклонов. Согласно СМ внутри каждого лептона должны существовать кварки и с положительными и отрицательными дробными электрическими зарядами.

Установленная экспериментально структура нейтрона содержит как положительно, так и отрицательно заряженные области в своей структуре [1, с. 10], что согласуется с СМ. А вот в структуре протона отрицательно заряженных областей пространства не обнаружено. Что иллюстрируется рис. 1.

Про силы, удерживающие нуклоны в ядре, будет написано в разделе о строении атомных ядер, а вот с массой и её участием в строении элементарных частиц остановимся подробнее.

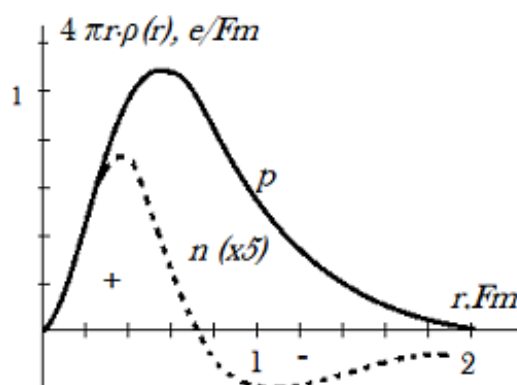


Рис. 1. Распределение кулоновских потенциалов в нуклонах

Масса в моделировании геометрии пространства

Масса — одно из самых древних понятий используемых человеческой цивилизацией. С одной стороны практически ежедневно используемое, но так и не до конца понятое. Приведем определение из Википедии: «Масса — скалярная физическая величина, определяющая инерционные и гравитационные свойства тел в ситуациях, когда их скорость намного меньше скорости света [2, с. 50-52]. В обыденной жизни и в физике XIX века масса синонимична весу [3, с. 28]. Будучи тесно связанной с такими понятиями механики, как «энергия» и «импульс», масса проявляется в природе двумя качественно разными способами, что даёт основания для подразделения её на две разновидности:

– **инертная масса** характеризует инертность тел и фигурирует в выражении второго закона Ньютона: если заданная сила в инерциальной системе отсчёта одинаково ускоряет различные тела, им приписывают одинаковую инертную массу;

– **гравитационная масса** (пассивная и активная) показывает, с какой силой тело взаимодействует с внешними полями тяготения [4, с. 1-7]. и какое гравитационное поле создаёт само это тело [5, с. 28]. Она входит в закон всемирного тяготения и положена в основу измерения массы взвешиванием.» В ОТО и СТО искажение пространства выводится как следствие от воздействия на него гравитации, и описывается тензорами. Этому посвящено очень много работ, например [6] [7] в которых приводятся доказательства в виде сложных математических формул. Попробуем получить тот же вывод без высшей математики путем моделирования процессов в одномерном пространстве.

В современной науке есть три понятия, величина которых не может иметь отрицательных значений в Евклидовом пространстве:

1. Масса.
2. Энергия.
3. Объем.

Первые два связаны известной формулой $E = mc^2$. Автор считает возможным сопоставить также и массу с объёмом для минимальных неделимых масс

вещества в виде элементарных частиц, через некую условную плотность ρ_m , являющуюся константой для пространства нашей вселенной.

$$m = \rho_m V. \quad (1)$$

Тогда некая масса будет располагаться в пространстве, доступная для ощущения и измерения его обитателями. Сразу оговорюсь, что вышесказанное справедливо только для простых (несоставных) элементарных частиц лептонов или кварков. Рассмотрим в качестве примера некое одномерное пространство E1, с нулевой плотностью $\rho_0 = 0$ изображённое на рис. 2.



Рис. 2. Одномерное пространство E1

Одномерное тело будет занимать в пространстве E1 длину L с плотностью ρ_L как показано на рис. 3.

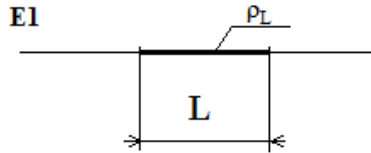


Рис. 3. Одномерное тело в одномерном пространстве E1

В рамках одномерного пространства одномерный наблюдатель не сможет понять, почему тела в виде отрезков прямой притягиваются как гравитационные массы, и сопротивляются движению как инерционные. Но на самом деле это тело L также находится в двумерном пространстве E2, вызывая искривление одномерного пространства во втором измерении.

Жители одномерного пространства это искривление в силу своей одномерности обнаружить не могут. Но одномерное тело, кроме своей длины будет присутствовать в двухмерном с соответствующей площадью S_2 . Энергия покоя такого одномерного тела будет определяться как

$$E_L = \rho_L L c^2. \quad (2)$$

Представив квадрат скорости света как некую двумерную площадь делённую на квадрат времени, и заменив $c^2 = S_{E2} t^{-2}$, получим для одномерного тела L

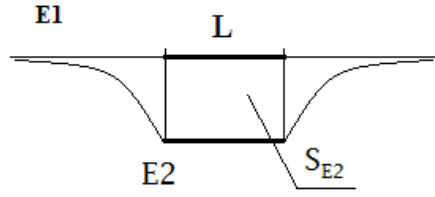


Рис. 4. Одномерное тело в двумерном пространстве E2

$$E_L = \rho_L L_{E1} S_{E2} t^{-2} = \rho_L (L_{E1} t^{-1}) (S_{E2} t^{-1}). \quad (3)$$

То есть энергия будет равна длине одномерного тела L умноженной на его линейную ρ_L плотность и квадрат скорости света, или произведению плотности, длины одномерного тела и площади сопряженного двумерного пространства в единицу времени каждое.

Для двухмерного тела площадью S и плотностью ρ_S

$$E_S = \rho_S S_{E2} (S_{E2} t^{-2}). \quad (4)$$

И для трехмерного тела объемом V и плотностью ρ_V (5):

$$E_V = \rho_V (V_{E3} t^{-1}) (S_{E2} t^{-1}) = \rho_V V_{E5} t^{-2}. \quad (5)$$

Приведя формулу (5) в привычный вид получим формулу

$$E_V = \rho_V (V_{E3}) (S_{E2} t^{-2}) = mc^2, \quad (6)$$

где $c^2 = S_{E2} t^{-2}$ площадь сопряженного двумерного пространства делённая на время в квадрате.

Таким образом, энергия покоя трёхмерных тел есть произведение плотности трёхмерного пространства на занятый телом объем и сопряженного с ним двумерного пространства в единицу времени каждого или ускорение в пятимерном пространстве V_{E5} .

Если некая область пространства подвергается искривлению от нескольких тел, то эти искривления складываются, вызывая перекосы в двухмерном пространстве, что вызывает силы, действующие в направлении этих перекосов, как показано на рис. 5.

Эти силы в данном случае, будут восприниматься жителями одномерного мира как гравитационное проявление массы. «Гравитационные» силы, действующие в одномерном мире на одномерные тела очевидно будут рассчитываться как (7), где K — некий коэффициент пропорциональности:

$$F_g = K m_1 m_2 R^{-2} = K \rho_L^2 (L_1 L_2) R^{-2}. \quad (7)$$

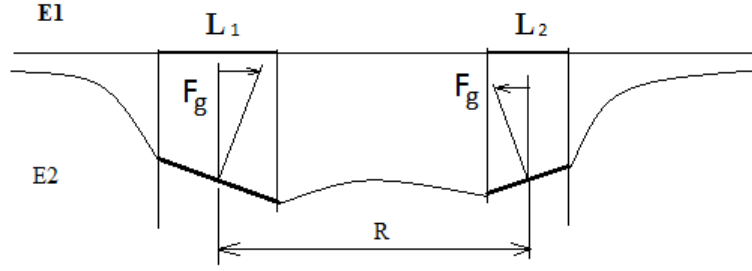


Рис. 5. Искажение пространства E2

Для двумерного мира

$$F_g = K m_1 m_2 R^{-2} = K \rho_S^2 (S_1 S_2) R^{-2}. \quad (8)$$

И для трехмерного

$$F_g = K m_1 m_2 R^{-2} = K \rho_V^2 (V_1 V_2) R^{-2}. \quad (9)$$

Современные воззрения на гравитацию диктуют, что для трёхмерного мира $K = G = 6,67430(15)10^{-11} (m^3 s^{-2} kg^{-1})$, или $(Nm^2 kg^{-2})$.

Автор считает, что формула (9) не полная и не учитывает вторую сущность массы — инерциальную.

Рассмотрим возникновение инерции опять же для одномерной вселенной. Попытка переместить тело L в одномерном пространстве силой F_x приведёт к возникновению силы F_i препятствующей этому перемещению, как показано на рис. 6

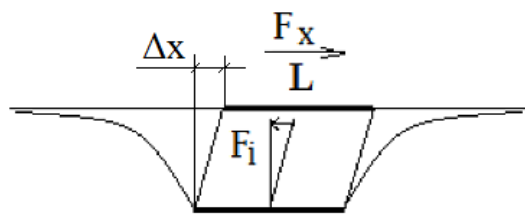


Рис. 6. Возникновение сил инерции

Эта сила F_i , будет воспринята как инерционное проявление массы одномерного тела и зависеть от длины тела S и величины смещения Δx .

Тогда для одномерного мира получим

$$F_i = -\rho_{E1} L_{E1} \Delta x t^{-2}. \quad (10)$$

Для двумерного

$$F_i = -\rho_{E2} S_{E2} \Delta x t^{-2}. \quad (11)$$

И трехмерного

$$F_i = -\rho_{E3} V_{E3} \Delta x t^{-2} = -ma. \quad (12)$$

Совместив искажение пространства с влиянием сил инерции получим следующую картину на рис. 7:

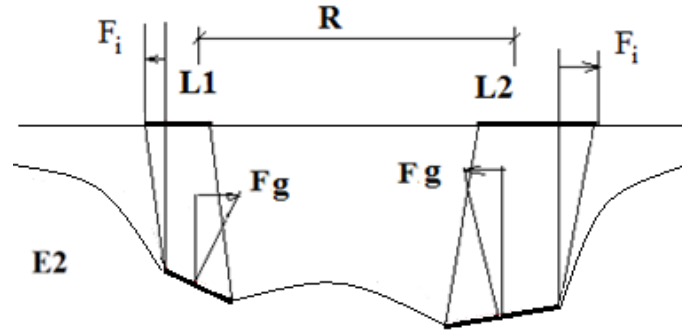


Рис. 7. Одновременное действие гравитационных и инерциальных сил

В общем виде соединив в одной формуле гравитационные и инерционные силы, получим для тела массой m_1

$$F = F_g + F_i = m_1(Gm_2R^{-2} - \Delta x t^{-2}), \quad (13)$$

где $G = 6,6740 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$ – гравитационная постоянная.

При отсутствии чужой гравитации $m_2 \rightarrow 0$ или $R \rightarrow \infty$, первое слагаемое становится равным нулю, при отсутствии перемещения тела в пространстве $\Delta x = 0$, второе слагаемое становится равным нулю.

Автором предлагается ввести понятие «Плотность вакуума» или «Плотность пространства» ρ_0 , Тогда $\rho_0 t^2 = \frac{1}{G} = 1.4982844 \cdot 10^{10} (\text{кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^3)$;

Представив m_2 как произведение плотности на объем $m_2 = \rho_{m_2} V_{m_2}$ получим следующую формулу

$$F = F_g + F_i = m_1 t^{-2} \left(\frac{\rho_{m_2} V_{m_2}}{\rho_0 R^2} - \Delta x \right). \quad (14)$$

Как видим, гравитационная составляющая для тела m_1 зависит от удалённости от второго гравитирующего тела R^2 , его объёма V_{m_2} и насколько плотность второго тела ρ_{m_2} превышает плотность вакуума ρ_0 .

В качестве примера рассчитаем плотность электрона исходя из его размеров и массы. Приняв линейный размер электрона $L \approx 1F$, получим грубо его объем $V \approx 10^{-45} (\text{м}^3)$. Разделив массу электрона на его объем получим плотность электрона $\rho_e = m_e/V_e = 9.1093837 \cdot 10^{-31}/1 \cdot 10^{-45} \approx 9.11 \cdot 10^{14} (\text{кг}/\text{м}^3)$, что как видно, на четыре порядка больше чем плотность вакуума.

Кстати, ненулевая плотность вакуума вполне соответствует популярной в последнее время концепции «Тёмной материи» которую усиленно ищут физики по всему миру.

Формулы (13) и (14) показывают, что на самом деле гравитационные силы очень велики, Просто почти все они идут на подавление силы инерции.

Представление собственной энергии покоя трёхмерного тела как ускорение в 5-мерном пространстве с некой плотностью, или как произведение плотного 3-х мерного и двумерного пространств в единицу времени каждое, даёт предположение, что возможно это двумерное пространство разделяет две зеркальные трёхмерные вселенные — материи и антиматерии. Иллюстрация — рис. 8.

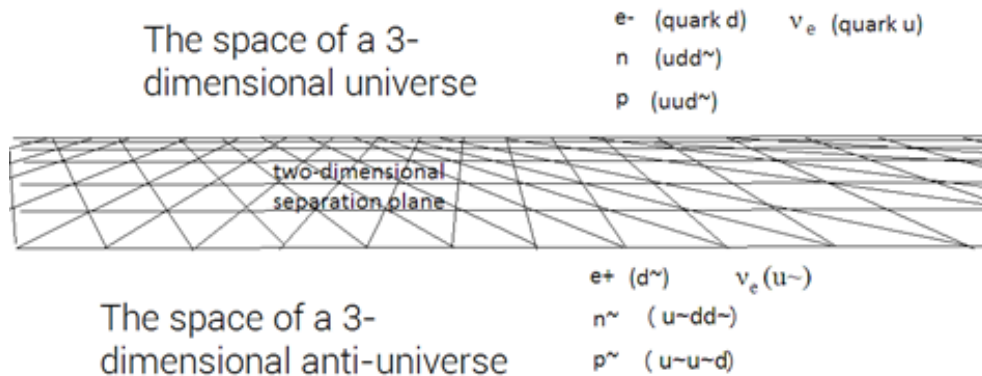


Рис. 8. Два трёхмерных пространства разделённые двумерной плоскостью

Данное предположение решает проблему с отсутствием в нашей вселенной антиматерии. Косвенным подтверждением такого предположения можно считать известную формулу энергии движущегося тела $E = mv^2/2$, в которой берётся только половина произведения массы на квадрат скорости тела. Вторая половина энергии движения видимо находится в зеркальной антивселенной.

Также представление вселенной как 5-мерного пространства в котором трёхмерное пространство прогибается в двумерное, даёт объяснение так называемому «гравитационному» замедлению времени. Или же замедлению скорости света в веществе.

Нет никакого замедления времени в реальности нашей вселенной. Время одинаково течёт в любой точке пространства независимо от положения или движения наблюдателя или наблюдаемого объекта. И скорость света для движущегося фотона одинакова независимо от того в вакууме он движется или среди «гравитационных ямок» образованных атомами вещества как показано на рис. 9.

А экспериментально установленное замедление скорости движения частиц происходит оттого, что в искривлённом пространстве фотону и любой элементарной частице приходится реально проходить более длинный путь, чем в вакууме как это показано на рис. 10.

Логично предположить, что в пространстве, прилегающем к сверхмассивным объектам («чёрные дыры»), увеличение длины пути и времени прохождения этого пути для фотонов будет таково, что их длина волны будет стремиться к бесконечности, а итоговая частота колебаний для внешнего наблюда-

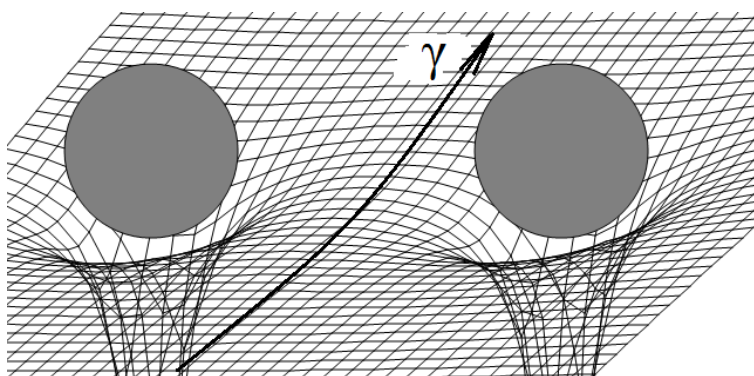


Рис. 9. Движение фотона в веществе

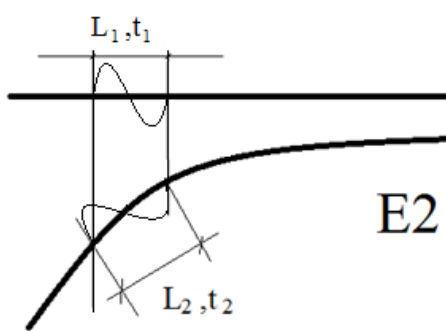


Рис. 10. Кажущаяся и реальная траектория фотона

теля будет стремиться к нулю. Иными словами, излучение частиц падающих в «чёрную дыру» будет стремительно сдвигаться в красную сторону спектра тем больше, чем выше будет скорость излучившей фотон частицы. Безусловно, что зафиксировать такие фотоны, с околонулевой частотой, излучаемые чёрной дырой, будет практически невозможно, но теоретическая возможность их наличия, снимает ещё один парадокс чёрных дыр — информационный.

Выводы

Резюмируя вышеизложенное: высказанное предположение о том, что силы удерживающие нуклоны в атомном ядре и наблюдаемый дефект массы нуклонов, не является причиной и следствием, дает основание считать кварками лептоны с целыми кулоновскими и иными зарядами. Дополнительным аргументом к такому предположению является экспериментально установленная структура нуклонов.

Высказано предположение об эквивалентности массы и трёхмерного объёма несоставных элементарных частиц — лептонов (кварков).

Принятие модели нашей вселенной как 5-мерного пространства или производению трёхмерного и двумерного пространств, даёт объяснение «гравитационному» и инерционному свойствам физического понятия массы. Показано, что сама масса своим объёмом вызывает искривление окружающего её пространства. Таким образом, из логической цепочки, что масса порождает гравитацию, которая вызовет искривление пространства, гравитацию можно исключить, равно как и гравитоны. Что делает бессмысленными попытки по созданию квантовой теории гравитации, а Хиггсовское поле и бозон Хиггса переводит в разряд математических курьёзов. Сказанное не противоречит наблюдениям так называемых «гравитационных волн», просто наблюдаемые эффекты надо относить не к некоему «гравитационному» полю, а к свойствам самого пространства нашей вселенной. Введение в физику понятия плотности вакуума вселенной $\rho_0 = 1.4982844 \cdot 10^{10} \text{ (} kgs^2/m^3 \text{)}$, обратной величине гравитационной постоянной G даёт объяснение силам гравитации и инерции, и приводит к выводу о реальности так называемой «тёмной материи» в структуре вакуума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Недорезов В.Г., Мушкаренков А.Н. Электромагнитные взаимодействия ядер. Московский гос. ун-т им. М.В. Ломоносова, Науч.-исслед. ин-т ядерной физики им. Д.В. Скобельцина. Москва : Университетская книга, 2010. 159 с.
2. Окунь Л.Б. Масса. Большая Российская Энциклопедия. Т. 3. М., 1992.
3. Сахаров Д.И., Блюдов М.И. Физика для техникумов. М. : Наука, 1969. С. 28.
4. Денисов В.И., Логунов А.А., Чугреев Ю.В. Неравенство пассивной гравитационной и инертной масс протяжённого тела // ТМФ. 1986. Т. 66:1. С. 3–12.
5. Вебер Дж. Общая теория относительности и гравитационные волны. М. : Изд-во иностр. лит., 1962.
6. Алексеев С.О. и др. М-во образования и науки Рос. Федерации. Урал. федер. ун-т. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015.
7. Островский Н.В. Гравитация и искривление пространства // Современные научные исследования и инновации. 2021. № 8 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2021/08/96389> (дата обращения: 24.08.2022).

MASS AS THE GEOMETRY OF SPACE**Ilya A. Boldov**

Researcher, e-mail: ilboldov@yandex.ru

Ladozhskoe Ltd., Krasnodar Region, Russia

Abstract. The paper shows that there are no fundamental prohibitions on the use of laws and concepts of the macrocosm in the physics of the microcosm. It is assumed that the binding energy in atomic nuclei (the nucleon mass defect) and the appearance of forces holding protons and neutrons in the nucleus are not cause and effect. It is hypothesized that based on the internal distribution of Coulomb charges inside nucleons, quarks can have not fractional but integer charges, and in this case leptons can be used as quarks. It is also clearly shown that the essence of mass as a physical phenomenon in N -dimensional space is a consequence of its extension in $N + 2$ -space, which causes gravitational and inertial manifestations of mass. The concept of "Vacuum density" is introduced, which can be analogous to the popular concept of "Dark Matter". It is hypothesized that our three-dimensional space is separated from the three-dimensional anti-space by a two-dimensional plane.

Keywords: elementary particles, three-dimensional space, gravity, mass.

Дата поступления в редакцию: 10.09.2022

ФИЛОСОФСКИЙ СЕМИНАР МАТЕМАТИКОВ ОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

А.К. Гуц

д.ф.-м.н., профессор, e-mail: aguts@mail.ru

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия

Аннотация. История создания «Философского семинара» математиков в Омском государственном университете. Тематика докладов.

Ключевые слова: история, Философский семинар, Омский государственный университет.

В августе-сентябре 1974 года, когда во вновь открывшемся Омском университете, приехавшие из Новосибирского Академгородка молодые математики – кандидаты наук – ощутили, что не совсем желанны для руководства университета и что их «потихоньку будут воспитывать», стали самоорганизовывать свою научную жизнь.

По инициативе Г.П. Кукина начал работу «Математический семинар». Семинар начал с того, что каждый стал по очереди рассказывать о своих научных достижениях, а фактически о содержании своих кандидатских диссертаций. Со временем этот семинар трансформировался в «Алгебраический семинар».

В конце сентября один из математиков – А.К. Гуц – подошёл к другому – Г.П. Кукину, назначенному заведующим кафедрой алгебры, и сказал:

– Скорее всего нам следует ожидать, что скоро нас заставят посещать какие-либо занятия, где будут «повышать наш политический уровень и идеологическую стойкость», и мы там и скончаемся. Ведь, уже на открытом партсобрании нам предложили воспитывать патриотизм студентов, рассказывая на лекциях по математике о Ковалевской, химии – о Менделееве и пр. Придумают что-нибудь ещё, поскольку нас воспринимают как носителей идеологических огрех Академгородка.

– Что ты предлагаешь?

– Давай сами организуем «Философский семинар» и сами будем определять тематику докладов! Вряд ли откажут нам в этом в партбюро: во-первых, для них это будет неожиданно, а, во-вторых, если и прикрепят, то далеко не сразу, куратора философа... Но тут уж никуда не денешься. К тому времени мы, как говорится, укрепим свои позиции, и куратор нам кашу не испортит.

– Хорошая идея!

– Ну, тогда иди в партбюро, предлагай!

Затея удалась, и уже в начале октября семинар начал свою работу. Заседали раз в месяц, избрали секретаря семинара (А.К. Гуц, позже А.Н. Гришков), вели протоколы (книга с протоколами отдана в Музей ОмГУ в июне 2022 года).

Кстати, некоторое время спустя партбюро ОмГУ решило обучить молодых математиков, как читать лекции, пригласив для этого преподавателя из пед-института. Более кошмарной лекции они в своей жизни не слышали. Слово «кошмар» хорошо отражает то, что математики слушали: «Лекция – от латинского слова... надо писать план лекции... держать во внимании студентов... ». А ведь в Академгородке им читали лекции лучшие учёные страны с мировой известностью. Было с кого брать пример, что они, в общем-то, и делали.

Куратора, конечно, назначили. Через год или два. Математикам повезло! Куратором стал замечательный человек и философ Вениамин Николаевич Типухин. Участник войны, поклонник Гегеля.

Семинар посещали студенты, сотрудники других факультетов. Иногда преподаватели других вузов.

1. Темы докладов семинара

Приведу список только философских докладов (пропускаю доклады по философии математики или партийно-идеологические). Номера – это номер семинара и в скобках даты.

1. (07.10.1974). Гуц А.К. (к.ф.-м.н.). Марксизм о пространстве и времени.
6. (10.03.1975). Терентьев С.А. (к.ф.-м.н.). Прогноз развития народонаселения по материалам журнала «Курьер-ЮНЕСКО».
9. (12.05.1975). Скряго А.М. Кибернетика и философия.
12. (18.12.1975). Кукин Г.П. (к.ф.-м.н.) Структурализм.
13. (25.12.1975). Ходак Г.Л. (к.ф.-м.н.) О понятии информации.
14. (25.03.1976). Носков Г.А. (к.ф.-м.н.) Философия Эрика Фромма.
15. (13.05.1976). Берестовский В.Н. (к.ф.-м.н.) Функциональные системы.
16. (14.10.1976). Романьков В.А. (к.ф.-м.н.) Томас Кун о науке.
17. (25.11.1976). Игнатьев В.Н. (к.ф.-м.н.) О связи фундаментальных и прикладных наук и техники.
20. (24.02.1977). Сечкин Г.И. (к.ф.-м.н.) О категориях «количество» и «качество» и предмете математики.
22. (21.04.1977). Гуц А.К. (к.ф.-м.н.) Причинность, машина времени и всё такое.
23. (26.05.1977). Фирсов А.Н. (к.ф.-м.н.) Соотношение функциональной и причинной связи.
25. (21.11.1977). Типухин В.Н. (к.ф.н.) О категориях сущности и существования и критике экзистенциализма.
28. (23.02.1978). Кукин Г.П. (к.ф.-м.н.) Различные концепции времени.
29. (06.04.1978). Хорошевский М.В. (к.ф.-м.н.) Ленин и коммунизм.
30. (04.05.1978). Самков Л.М. Методологический и политико-экономический анализ науки как сферы информационного производства.
32. (09.10.1978). Гуц А.К. (к.ф.-м.н.), Стукалов В.А. (содокл., к.п.н.). Вселенная и разум.

34. (28.12.1978) Кайзер В.В. (к.ф.-м.н.). Лаборатория творчества. Интуиция против разума.
35. (22.01.1979). Сечкин Г.И. (к.ф.-м.н.) Учение Гегеля о понятии как таковом.
36. (26.02.1979). Медных А.Д. (к.ф.-м.н.) Основной биогенетический закон и математика.
37. (12.03.1979). К 100-летию А.Эйнштейна.
- Типухин В.Н. (к.ф.н.) Философские взгляды Эйнштейна.
 - Адеев Г.Д. (к.ф.-м.н.) Дискуссии Эйнштейна с Бором о природе статистических законов квантовой механики.
 - Гуц А.К. (к.ф.-м.н.) Эйнштейн и космология.
38. (23.04.1979). Кузовлев Ю.П. Квантификация и социальный прогресс.
40. (05.04.1979). Гуц А.К. (к.ф.-м.н.). Космические цивилизации.
41. (03.12.1979). Смоленцев Н.К. (к.ф.-м.н.). Научный поиск и религиозная вера (по брошюре А.Д. Александрова).
43. (11.02.1980). Соловьев А.Ф. (к.ф.-м.н.), Кряжовских Г.В. (содокл.). У вопросу о возникновении христианства.
44. (10.03.1980). Нудельман Г.А. (к.ф.-м.н.). Экономическая таблица Ф. Ке-нэ.
48. (10.11.1980). Сечкин Г.И. (к.ф.-м.н.), Типухин В.Н. (содокладчик, к.ф.н.). Учение Гегеля о суждении.
51. (09.02.1981). Кукин Г.П. (д.ф.-м.н.) По страницам журнала «Вопросы философии».
57. (04.01.1982). Гуц А.К. (к.ф.-м.н.). Познаваемость Вселенной и межзвездные перелеты.
58. (22.02.1982). Берестовский В.Н. (к.ф.-м.н.). Восприятие человеком пространства и времени.
59. (-.03.1982). Медных А.Д. (к.ф.-м.н.). Теория деформаций и законы диалектики.
60. (-.04.1982). Хорошевский М.В. (к.ф.-м.н.). Проблемы развития психики.
61. (-.05.1982). Ким Е.Е. (к.ф.н.). Некоторые проблемы современного революционного процесса.
63. (06.12.1982). Гуц А.К. (к.ф.-м.н.). Внеземные цивилизации. От геоцентризма к антропоморфизму.
64. (03.01.1983). Сергеев В.Н. (к.п.н.). Конец Мира глазами Римского клуба.
65. (14.02.1983). Кукин Г.П. (д.ф.-м.н.), Типухин В.Н. (содокладчик, к.ф.н.). Проблемы дарвинизма.
67. (04.04.1983). Медных А.Д. (к.ф.-м.н.), Гуц А.К. (содокладчик, к.ф.-м.н.). Проблема жизни и 3-мерная топология.
68. (04.05.1983). Самков Л.М. Искусственный интеллект.
69. (30.05.1983). Балакин Ю.В. (к.и.н.), Кукин Г.П. (содокладчик, д.ф.-м.н.). Некоторые проблемы антропогенеза.

71. (19.12.1983, совместное заседание с преподавателями исторического факультета).

- Фридман Г.Ш. (к.ф.-м.н.). К анализу глобальной хронологии.
- Матющенко В.И. (д.и.н.). Проблемы абсолютного датирования в археологии.

- Балакин Ю.Н. (к.и.н.). О хронологии Древней и Средневековой истории и методе А.Т. Фоменко.

80. (25.02.1985). Макаров С.В. Проблемы развитого социализма.

83. (20.05.1985). Красников А.Ф. (к.ф.-м.н.). Диалектическая и математическая логики

2. Научный уровень семинара

Докладчики – математики, не философы. Темы, как видим, часто весьма философски серьёзные. Можно ли заявить о высоком уровне как докладов, так и их обсуждения?

Не будем фантазировать. Отметим только, что 13 докладчиков – это будущие доктора наук (Кукин Г.П., Гуц А.К., Медных А.Д., Адеев Г.Д., Гришков А.Н., Берестовский В.Н., Романьков В.А., Смоленцев Н.К., Фирсов А.Н., Носков Г.А., Игнатьев В.Н., Ким Е.Е., Гринь А.Г. (тема доклада несколько нефилософская [1])). Иначе говоря, быть может философскую изощрённость они не улавливали, но нетривиальность идей ими излагаемых они вполне осознавали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Философский семинар. Журнал протоколов заседаний [рукоп.]. Музей ОмГУ, 2022.

PHILISOPHICAL SEMINAR OF MATHEMATICIANS IN OMSK STATE UNIVERSITY

A.K. Guts

Dr.Sc. (Phys.-Math.), Professor, e-mail: aguts@mail.ru

Dostoevsky Omsk State University, Omsk, Russia

Abstract. The history of the creation of the "Philosophy Seminar" of mathematicians in Omsk State University. Topics of reports.

Keywords: History, Philisophical Seminar, mathematicians, Omsk State University.

Дата поступления в редакцию: 28.06.2022

PHYSICAL TRAJECTORIES ARE SMOOTH, WITH VELOCITIES AT LEAST AS CONTINUOUS AS BROWNIAN MOTION

Olga Kosheleva

Ph.D. (Phys.-Math.), Associate Professor, e-mail: olgak@utep.edu

Vladik Kreinovich

Ph.D. (Phys.-Math.), Professor, e-mail: vladik@utep.edu

University of Texas at El Paso, El Paso, Texas 79968, USA

Abstract. The fact that the kinetic energy of a particle cannot exceed its overall energy implies that the velocity – i.e. the derivative of the trajectory – should be bounded. This means, in effect, that all the trajectories are differentiable (smooth). However, at first glance, there seems to be no direct requirement that the velocities continuously depend on time. In this paper, we show that the properties of electromagnetic field necessitate that the velocities are continuous functions of time – moreover, that they are at least as continuous as the Brownian motion.

Keywords: smooth trajectories, continuous dependence, Brownian motion.

1. Formulation of the Problem

It is important to know which physical quantities are smooth and which are continuous. From the physical viewpoint, there is a big difference between smooth changes and abrupt changes – as, e.g., in phase transitions. From the mathematical viewpoint, an abrupt change means that either some physical quantity is discontinuous or that its derivative is discontinuous. It is therefore important to analyze which discontinuities are physically possible.

We can view this question from a more mathematical viewpoint. Namely, physical processes are usually described by differential equations. It is known that the properties of the solutions to differential equations often depend on whether the corresponding sources and/or initial conditions are continuous or differentiable. So, to understand physical phenomena, it is important to know which physical quantities are smooth and which are continuous.

Fundamental case: particles. From the physical viewpoint, everything consists of particles (see, e.g., [1, 2]):

- a seemingly continuous solid body consists of atoms,
- a seemingly continuous field consists of field quanta – e.g., electromagnetic field consists of photons, etc.

Each quantity of a physical system is a combination of quantities of the constituent particles. Thus, the general question of what is smooth and what is continuous in the physical world can be reduced to the fundamental case of checking when is a trajectory of each particle continuous or smooth.

Trajectories should be smooth. A kinetic energy of a particle

$$m \cdot \frac{v^2}{2}$$

of mass m cannot exceed its overall energy. Thus, the velocities v are bounded. This means, in effect, that all the trajectories are differentiable (smooth).

But are velocities continuous? At first glance, it seems that velocities – i.e., derivatives of the trajectories – can be discontinuous: e.g., in a collision of two point particle, they abruptly change their velocities.

What we do in this paper. In this paper, we show that the above at-first-glance analysis is misleading.

Namely, if we take into account simple properties of such an ubiquitous thing as the electromagnetic field, then we can conclude that velocities have to be continuous – at least as continuous as Brownian motion.

2. Analysis of the Problem and the Resulting Conclusion

Basic physics: reminder. Matter largely consists of electrons and hadrons – that, in turn, consists of quarks. Both electrons and quarks are electrically charged, and thus, most follow the equations of electrodynamics.

According to these equations, every charged particle accelerating with acceleration a radiates energy – and its energy loss proportional to a^2 ; see, e.g., [1, 2]. Thus, the overall radiation-based loss of energy between two moments $t_1 < t_2$ is proportional to the integral

$$\int_{t_1}^{t_2} (a(t))^2 dt.$$

Analyzing the problem. Overall, a particle cannot lose more energy than it originally had + what it got, so for each particle, we must have

$$\int_{t_1}^{t_2} (a(t))^2 dt \leq E_0$$

for some constant E_0 .

It is known that the scalar (dot) product

$$\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i$$

of two vectors $x = (x_1, \dots, x_n)$ and $y = (y_1, \dots, y_n)$ cannot exceed the product of their lengths:

$$\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i \leq \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}.$$

In the limit when sum tends to an integral, this implies that for every two functions $x(t)$ and $y(t)$, we have

$$\int_{t_1}^{t_2} x(t) \cdot y(t) dt \leq \sqrt{\int_{t_1}^{t_2} (x(t))^2 dt} \cdot \sqrt{\int_{t_1}^{t_2} (y(t))^2 dt}.$$

In particular, for $x(t) = |a(t)|$, $y(t) = 1$, and $t_2 = t_1 + \Delta t$, the second integral is equal to Δt , so we have

$$\int_{t_1}^{t_1+\Delta t} |a(t)| dt \leq \sqrt{\int_{t_1}^{t_1+\Delta t} (a(t))^2 dt} \cdot \sqrt{\Delta t}.$$

The first integral in the right-hand side is bounded by E_0 , so

$$\int_{t_1}^{t_1+\Delta t} |a(t)| dt \leq \sqrt{E_0} \cdot \sqrt{\Delta t}.$$

Here, we have

$$|v(t_1 + \Delta t) - v(t_1)| = \left| \int_{t_1}^{t_1+\Delta t} a(t) dt \right| \leq \int_{t_1}^{t_1+\Delta t} |a(t)| dt,$$

thus

$$|v(t_1 + \Delta t) - v(t_1)| \leq c \cdot \sqrt{\Delta t}, \quad (1)$$

where we denoted $c \stackrel{\text{def}}{=} \sqrt{E_0}$.

Velocities are continuous. According to the formula (1), when $\Delta t \rightarrow 0$, we have $|v(t_1 + \Delta t) - v(t_1)| \rightarrow 0$, i.e., $v(t_1 + \Delta t) \rightarrow v(t_1)$.

Thus, each velocity is indeed a continuous function of time.

Velocities are at least as continuous as the Brownian motion. For the Brownian motion, the average value of the difference $|v(t_1 + \Delta t) - v(t_1)|$ is indeed proportional to $\sqrt{\Delta t}$; see, e.g., [1, 2].

In this sense, the velocities are indeed as continuous as the Brownian motion.

Acknowledgments

This work was supported in part by the National Science Foundation grants 1623190 (A Model of Change for Preparing a New Generation for Professional Practice in Computer Science), and HRD-1834620 and HRD-2034030 (CAHSI Includes), and by the AT&T Fellowship in Information Technology.

It was also supported by the program of the development of the Scientific-Educational Mathematical Center of Volga Federal District No. 075-02-2020-1478, and by a grant from the Hungarian National Research, Development and Innovation Office (NRDI).

REFERENCES

1. Feynman R., Leighton R., and Sands M. The Feynman Lectures on Physics. Addison Wesley, Boston, Massachusetts, 2005.
2. Thorne K.S. and Blandford R.D. Modern Classical Physics: Optics, Fluids, Plasmas, Elasticity, Relativity, and Statistical Physics. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 2017.

ФИЗИЧЕСКИЕ ТРАЕКТОРИИ ГЛАДКИЕ, СО СКОРОСТЯМИ, ПО КРАЙНЕЙ МЕРЕ, ТАКИМИ ЖЕ НЕПРЕРЫВНЫМИ КАК БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

О. Кошелева

Ph.D., доцент, e-mail: olgak@utep.edu

В. Крейнович

Ph.D., профессор, e-mail: vladik@utep.edu

Техасский университет в Эль Пасо, Эль Пасо, Техас, США

Аннотация. Тот факт, что кинетическая энергия частицы не может превышать её полную энергию, означает, что скорость, т. е. производная от траектории, должна быть ограничена. Фактически это означает, что все траектории дифференцируемы (гладки). Однако, на первый взгляд, кажется, что нет прямого требования, чтобы скорости непрерывно зависели от времени. В этой статье мы показываем, что свойства электромагнитного поля требуют, чтобы скорости были непрерывными функциями времени, более того, чтобы они были, по крайней мере, такими же непрерывными, как и броуновское движение.

Ключевые слова: гладкие траектории, непрерывная зависимость, броуновское движение.

Дата поступления в редакцию: 27.07.2022

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В ВОСХОДЯЩИХ ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНОСТНОЙ СХЕМЫ

С.П. Баутин¹

д.ф.-м.н., профессор, e-mail: spbautin@mail.ru

С.Н. Кононов²

аспирант, e-mail: kononovsn@susu.ru

Э.С. Левунина³

аспирант, e-mail: elvirka@rambler.ru

¹Снежинский физико-технический институт, Снежинск, Россия

²Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

³Производственное объединение «Маяк», Озёрск, Россия

Аннотация. В работе предлагается вариант решения численным методом одной газодинамической задачи, поставленной в монографии [1]. Предложенная полная система уравнений Навье-Стокса в цилиндрических координатах при использовании центральных конечных разностей представлена явной разностной схемой. Создана программная реализация счёта для известного точного решения системы. Поставлена задача распараллеливания действий для обработки модели на кластерных системах, что необходимо для уменьшения времени счёта.

Ключевые слова: численные методы, полная система уравнений Навье-Стокса, восходящие закрученные потоки газа.

На протяжении десяти лет коллектив авторов под руководством Баутина С.П. ведёт работу по моделированию восходящих закрученных потоков (ВЗП) воздуха, встречающихся в природе в виде торнадо и тропических циклонов [2]. В монографии [1] представлена полная система уравнений Навье-Стокса для воздуха в которой учтено действие сил тяжести и Кориолиса, а также вязкость и теплопроводность газа. Система записана в цилиндрических координатах и содержит пять уравнений: уравнение неразрывности, три уравнения для радиальной, окружной и вертикальной составляющих скорости газа и уравнения энергии в безразмерных переменных.

$$\left\{ \begin{aligned}
 &\rho_t + u\rho_r + \frac{v}{r}\rho_\varphi + w\rho_z + \rho \left(u_r + \frac{u}{r} + \frac{v_\varphi}{r} + w_z \right) = 0, \\
 &u_t + uu_r + \frac{v}{r}u_\varphi - \frac{v^2}{r} + wu_z + \frac{T}{\gamma\rho}\rho_r + \frac{1}{\gamma}T_r = av - b \cos \varphi w + \\
 &\quad + \frac{\mu_0}{\rho} \left(u_{rr} + \frac{3}{4r^2}u_{\varphi\varphi} + \frac{1}{r}u_r - \frac{1}{r^2}u + \frac{1}{4r}v_{r\varphi} - \frac{7}{4r^2}v_\varphi + \frac{3}{4}u_{zz} + \frac{1}{4}w_{rz} \right), \\
 &v_t + uv_r + \frac{uv}{r} + \frac{v}{r}v_\varphi + wv_z + \frac{T}{\gamma\rho}\rho_\varphi + \frac{1}{\gamma}T_\varphi = -au + b \sin \varphi w + \\
 &\quad + \frac{\mu_0}{\rho} \left(\frac{1}{4r}u_{r\varphi} + \frac{7}{4r^2}u_\varphi + \frac{3}{4}v_{rr} + \frac{1}{r^2}v_{\varphi\varphi} + \frac{3}{4r}v_r - \frac{3}{4r^2}v + \frac{3}{4}v_{zz} + \frac{1}{4r}w_{\varphi z} \right), \\
 &w_t + uw_r + \frac{v}{r}w_\varphi + ww_z + \frac{T}{\gamma\rho}\rho_z + \frac{1}{\gamma}T_z = b \cos \varphi u - b \sin \varphi v - g + \\
 &\quad + \frac{\mu_0}{\rho} \left(\frac{1}{4}u_{rz} + \frac{1}{4r}u_z + \frac{1}{4r}v_{\varphi z} + \frac{3}{4}w_{rr} + \frac{3}{4r^2}w_{\varphi\varphi} + \frac{3}{4r}w_r + w_{zz} \right), \\
 &T_t + uT_r + \frac{v}{r}T_\varphi + wT_z + (\gamma - 1)T \left(u_r + \frac{u}{r} + \frac{v_\varphi}{r} + w_z \right) = \\
 &\quad = \frac{\varkappa_0}{\rho} \left(T_{rr} + \frac{1}{r^2}T_{\varphi\varphi} + T_{zz} + \frac{1}{r}T_r \right) + \\
 &\quad + \frac{\mu_0\gamma(\gamma-1)}{2\rho} \left\{ \left[\cos 2\varphi \left(u_r - \frac{1}{r}v_\varphi - \frac{1}{r}u \right) - \sin 2\varphi \left(v_r + \frac{1}{r}u_\varphi - \frac{1}{r}v \right) \right]^2 + \right. \\
 &\quad + \left[\cos^2 \varphi u_r - \cos \varphi \sin \varphi v_r - \frac{\cos \varphi \sin \varphi}{r}u_\varphi + \frac{\sin^2 \varphi}{r}v_\varphi + \right. \\
 &\quad + \left. \frac{\sin^2 \varphi}{r}u + \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{r}v - w_z \right]^2 + \\
 &\quad + \left[\sin^2 \varphi u_r + \cos \varphi \sin \varphi v_r + \frac{\cos \varphi \sin \varphi}{r}u_\varphi + \frac{\cos^2 \varphi}{r}v_\varphi + \right. \\
 &\quad + \left. \frac{\cos^2 \varphi}{r}u - \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{r}v - w_z \right]^2 + \\
 &\quad + \frac{3}{2} \left[\sin 2\varphi \left(u_r - \frac{1}{r}v_\varphi - \frac{1}{r}u \right) + \cos 2\varphi \left(v_r + \frac{1}{r}u_\varphi - \frac{1}{r}v \right) \right]^2 + \\
 &\quad + \left. \frac{3}{2} \left[\left(u_z + w_r \right)^2 + \left(v_z + \frac{1}{r}w_\varphi \right)^2 \right] \right\}.
 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

Здесь:

ρ — плотность газа;

T — температура;

u, v, w — соответственно радиальная, окружная, вертикальная составляющие скорости;

ρ, φ, z — цилиндрические координаты;

t — время;

$\mu_0, \varkappa_0$ — постоянные коэффициенты вязкости и теплопроводности;

γ — показатель адиабаты газа;

a, b — постоянные коэффициенты, учитывающие действие силы Кориолиса в зависимости от широты расчётной точки.

Аналитическое решение системы с произвольными начальными и граничными условиями невозможно и поэтому необходимо использование численных методов.

Поскольку тропический циклон, является ВЗП больших пространственных размеров и течение воздуха в нем является достаточно сложным, то моделирование таких течений сеточными методами вызывает необходимость использования большого числа узлов для расчёта. Это влечёт увеличение времени счёта и поэтому необходимо ускорения счёта. Современные вычислительные мощности обеспечивают высокую производительность, но лишь в случаях, допускающих хорошее распараллеливания задачи. Для расчётов в работе предложено использовать явную схему метода конечных разностей.

Полная система уравнений Навье-Стокса — нелинейная система уравнений с частными производными смешанного типа — аппроксимирована алгебраическими уравнениями при замене производных на центральные разности. При переходе к уравнению в конечных разностях нижние индексы параметров будут указывать на координаты узла цилиндрической сетки, верхний индекс будет обозначать номер текущего ($n + 1$) и предыдущего (n) временных слоёв. Зададимся, что: i , (от 0 до I) j (от 0 до J), k (от 0 до K) - номера узлов по r, φ, z соответственно, $\Delta r, \Delta \varphi$ и Δz - шаги по r, φ и z соответственно, n - номер временного слоя, τ - шаг по времени.

Производная по времени от функции f задаётся уравнением:

$$\frac{\partial f}{\partial t} \approx \frac{f_{i,j,k}^n - f_{i,j,k}^{n-1}}{\tau} \quad (2)$$

Первые и вторые производные заменяются на центральные разности:

$$\frac{\partial f}{\partial r} \approx \frac{f_{i+1,j,k}^n - f_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial r^2} \approx \frac{f_{i+1,j,k}^n - 2f_{i,j,k}^n + f_{i-1,j,k}^n}{\Delta r^2} \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial r \partial \varphi} \approx \frac{f_{i+1,j+1,k}^n - f_{i-1,j+1,k}^n - f_{i+1,j-1,k}^n + f_{i-1,j-1,k}^n}{4\Delta r \Delta \varphi} \quad (5)$$

Принимая во внимание вышеописанное, выражение плотности на текущем временном слое от параметров на слое предыдущем будет выглядеть так:

$$\begin{aligned} \rho_{i,j,k}^{n+1} = & \rho_{i,j,k}^n - \tau \cdot \left[u_{i,j,k}^n \cdot \frac{\rho_{i+1,j,k}^n - \rho_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} + \frac{v_{i,j,k}^n}{i\Delta r} \cdot \frac{\rho_{i,j+1,k}^n - \rho_{i,j-1,k}^n}{2\Delta \varphi} + \right. \\ & + w_{i,j,k}^n \cdot \frac{\rho_{i,j,k+1}^n - \rho_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} + \rho_{i,j,k}^n \left(\frac{u_{i+1,j,k}^n - u_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} + \frac{u_{i,j,k}^n}{i\Delta r} + \right. \\ & \left. \left. + \frac{v_{i,j+1,k}^n - v_{i,j-1,k}^n}{2i\Delta r \Delta \varphi} + \frac{w_{i,j,k+1}^n - w_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} \right) \right] \end{aligned}$$

Уравнения для трёх составляющих скоростей примут вид:

$$\begin{aligned} \frac{u_{i,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^n}{\tau} = & -u_{i,j,k}^n \frac{u_{i+1,j,k}^n - u_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} - \frac{v_{i,j,k}^n}{i\Delta r} \frac{u_{i,j+1,k}^n - u_{i,j-1,k}^n}{2\Delta \varphi} + \frac{(v_{i,j,k}^n)^2}{i\Delta r} - \\ & - w_{i,j,k}^n \frac{u_{i,j,k+1}^n - u_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} - \frac{T_{i,j,k}^n}{\gamma \rho_{i,j,k}^n} \frac{\rho_{i+1,j,k}^n - \rho_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} - \frac{T_{i+1,j,k}^n - T_{i-1,j,k}^n}{2\gamma \Delta r} + a v_{i,j,k}^n - \\ & - b \cos(j\Delta \varphi) w_{i,j,k}^n + \frac{\mu_0}{\rho_{i,j,k}^n} \left(\frac{u_{i+1,j,k}^n - 2u_{i,j,k}^n + u_{i-1,j,k}^n}{\Delta r^2} + \frac{3}{4(i\Delta r)^2} \frac{u_{i,j+1,k}^n - 2u_{i,j,k}^n + u_{i,j-1,k}^n}{\Delta \varphi^2} + \right. \\ & + \frac{u_{i+1,j,k}^n - u_{i-1,j,k}^n}{2i\Delta r^2} - \frac{u_{i,j,k}^n}{(i\Delta r)^2} + \frac{v_{i+1,j+1,k}^n - v_{i-1,j+1,k}^n - v_{i+1,j-1,k}^n + v_{i-1,j-1,k}^n}{16i(\Delta r)^2 \Delta \varphi} - \\ & - \frac{7}{4(i\Delta r)^2} \frac{v_{i,j+1,k}^n - v_{i,j-1,k}^n}{2\Delta \varphi} + \frac{3(u_{i,j,k+1}^n - 2u_{i,j,k}^n + u_{i,j,k-1}^n)}{4\Delta z^2} + \\ & \left. + \frac{w_{i+1,j,k+1}^n - w_{i-1,j,k+1}^n - w_{i+1,j,k-1}^n + w_{i-1,j,k-1}^n}{16\Delta r \Delta z} \right); \\ \frac{v_{i,j,k}^{n+1} - v_{i,j,k}^n}{\tau} = & -u_{i,j,k}^n \frac{v_{i+1,j,k}^n - v_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} - \frac{v_{i,j,k}^n}{i\Delta r} \frac{u_{i,j+1,k}^n}{\Delta \varphi} - \frac{v_{i,j,k}^n}{i\Delta r} \frac{v_{i,j+1,k}^n - v_{i,j-1,k}^n}{2\Delta \varphi} - \\ & - w_{i,j,k}^n \frac{v_{i,j,k+1}^n - v_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} - \frac{T_{i,j,k}^n}{\gamma i \Delta r \rho_{i,j,k}^n} \frac{\rho_{i,j+1,k}^n - \rho_{i,j-1,k}^n}{2\Delta \varphi} - \frac{T_{i,j+1,k}^n - T_{i,j-1,k}^n}{2i\Delta r \gamma \Delta \varphi} - a u_{i,j,k}^n + \\ & + b \sin(j\Delta \varphi) w_{i,j,k}^n + \frac{\mu_0}{\rho_{i,j,k}^n} \left(\frac{u_{i+1,j+1,k}^n - u_{i-1,j+1,k}^n - u_{i+1,j-1,k}^n + u_{i-1,j-1,k}^n}{16i\Delta r^2 \Delta \varphi} + \right. \\ & + \frac{7}{4(i\Delta r)^2} \frac{u_{i,j+1,k}^n - u_{i,j-1,k}^n}{2\Delta \varphi} + \frac{3}{4} \frac{v_{i+1,j,k}^n - 2v_{i,j,k}^n + v_{i-1,j,k}^n}{\Delta r^2} + \frac{1}{(i\Delta r)^2} \frac{v_{i,j+1,k}^n - 2v_{i,j,k}^n + v_{i,j-1,k}^n}{\Delta \varphi^2} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{3}{4} \frac{v_{i+1,j,k}^n - v_{i-1,j,k}^n}{2i\Delta r^2} - \frac{3}{4} \frac{v_{i,j,k}^n}{(i\Delta r)^2} + \frac{3(v_{i,j,k+1}^n - 2v_{i,j,k}^n + v_{i,j,k-1}^n)}{4\Delta z^2} + \\
& + \frac{w_{i,j+1,k+1}^n - w_{i,j+1,k-1}^n - w_{i,j-1,k+1}^n + w_{i,j-1,k-1}^n}{16i\Delta r\Delta\varphi\Delta z} \Bigg) ; \\
& \frac{w_{i,j,k}^{n+1} - w_{i,j,k}^n}{\tau} = -u_{i,j,k}^n \frac{w_{i+1,j,k}^n - w_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} - \frac{v_{i,j,k}^n}{i\Delta r} \frac{w_{i,j+1,k}^n - w_{i,j-1,k}^n}{2\Delta\varphi} - \\
& - w_{i,j,k}^n \frac{w_{i,j,k+1}^n - w_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} - \frac{T_{i,j,k}^n}{\gamma\rho_{i,j,k}^n} \frac{\rho_{i,j,k+1}^n - \rho_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} - \frac{T_{i,j,k+1}^n - T_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z\gamma} + \\
& + b \cos(j\Delta\varphi) u_{i,j,k}^n - b \sin(j\Delta\varphi) v_{i,j,k}^n - g + \frac{\mu_0}{\rho_{i,j,k}^n} \cdot \\
& \cdot \left(\frac{u_{i+1,j,k+1}^n - u_{i-1,j,k+1}^n - u_{i+1,j,k-1}^n + u_{i-1,j,k-1}^n}{16\Delta r\Delta z} + \frac{1}{4i\Delta r} \frac{u_{i,j,k+1}^n - u_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} + \right. \\
& + \frac{v_{i,j+1,k+1}^n - v_{i,j+1,k-1}^n - v_{i,j-1,k+1}^n + v_{i,j-1,k-1}^n}{16i\Delta r\Delta\varphi\Delta z} + \frac{3}{4} \frac{w_{i+1,j,k}^n - 2w_{i,j,k}^n + w_{i-1,j,k}^n}{\Delta r^2} + \\
& \left. + \frac{3}{4(i\Delta r)^2} \frac{w_{i,j+1,k}^n - 2w_{i,j,k}^n + w_{i,j-1,k}^n}{\Delta\varphi^2} + \frac{3}{4i\Delta r} \frac{w_{i+1,j,k}^n - w_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} + \frac{(w_{i,j,k+1}^n - 2w_{i,j,k}^n + w_{i,j,k-1}^n)}{\Delta z^2} \right) .
\end{aligned}$$

Уравнение энергии:

$$\begin{aligned}
& \frac{T_{i,j,k}^{n+1} - T_{i,j,k}^n}{\tau} = -u_{i,j,k}^n \frac{T_{i+1,j,k}^n - T_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} - \frac{v_{i,j,k}^n}{i\Delta r} \frac{T_{i,j+1,k}^n - T_{i,j-1,k}^n}{2\Delta\varphi} - w_{i,j,k}^n \frac{T_{i,j,k+1}^n - T_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} - \\
& - (\gamma - 1) T_{i,j,k}^n \left(\frac{u_{i+1,j,k}^n - u_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} + \frac{u_{i,j,k}^n}{i\Delta r} + \frac{v_{i,j+1,k}^n - v_{i,j-1,k}^n}{2\Delta\varphi i\Delta r} + \frac{w_{i,j,k+1}^n - w_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} \right) + \\
& + \frac{\kappa_0}{\rho_{i,j,k}^n} \left(\frac{T_{i+1,j,k}^n - 2T_{i,j,k}^n + T_{i-1,j,k}^n}{\Delta r^2} + \frac{1}{i^2\Delta r^2} \frac{T_{i,j+1,k}^n - 2T_{i,j,k}^n + T_{i,j-1,k}^n}{\Delta\varphi^2} + \right. \\
& + \left. \frac{T_{i,j,k+1}^n - 2T_{i,j,k}^n + T_{i,j,k-1}^n}{\Delta z^2} + \frac{T_{i+1,j,k}^n - T_{i-1,j,k}^n}{2i\Delta r^2} \right) + \\
& + \frac{\mu_0\gamma(\gamma-1)}{2\rho_{i,j,k}^n} \left\{ \left[\cos 2j\Delta\varphi \left(\frac{u_{i+1,j,k}^n - u_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} - \frac{v_{i,j+1,k}^n - v_{i,j-1,k}^n}{2\Delta\varphi i\Delta r} - \frac{u_{i,j,k}^n}{i\Delta r} \right) - \right. \right. \\
& - \left. \sin 2j\Delta\varphi \left(\frac{v_{i+1,j,k}^n - v_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} + \frac{u_{i,j+1,k}^n - u_{i,j-1,k}^n}{2\Delta\varphi i\Delta r} - \frac{v_{i,j,k}^n}{i\Delta r} \right) \right]^2 + \\
& + \left[\cos^2 j\Delta\varphi \frac{u_{i+1,j,k}^n - u_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} - \cos j\Delta\varphi \sin j\Delta\varphi \frac{v_{i+1,j,k}^n - v_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} - \right. \\
& - \left. \cos j\Delta\varphi \sin j\Delta\varphi \frac{u_{i,j+1,k}^n - u_{i,j-1,k}^n}{2\Delta\varphi i\Delta r} + \right. \\
& + \left. \sin^2 j\Delta\varphi \frac{v_{i,j+1,k}^n - v_{i,j-1,k}^n}{2\Delta\varphi i\Delta r} + \sin^2 j\Delta\varphi \frac{u_{i,j,k}^n}{i\Delta r} + \cos j\Delta\varphi \sin j\Delta\varphi \frac{v_{i,j,k}^n}{i\Delta r} - \frac{w_{i,j,k+1}^n - w_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} \right]^2 + \\
& + \left[\sin^2 j\Delta\varphi \frac{u_{i+1,j,k}^n - u_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} + \cos j\Delta\varphi \sin j\Delta\varphi \frac{v_{i+1,j,k}^n - v_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} + \right. \\
& + \left. \cos j\Delta\varphi \sin j\Delta\varphi \frac{u_{i,j+1,k}^n - u_{i,j-1,k}^n}{2\Delta\varphi i\Delta r} + \right. \\
& + \left. \cos^2 j\Delta\varphi \frac{v_{i,j+1,k}^n - v_{i,j-1,k}^n}{2\Delta\varphi i\Delta r} + \cos^2 j\Delta\varphi \frac{u_{i,j,k}^n}{i\Delta r} - \cos j\Delta\varphi \sin j\Delta\varphi \frac{v_{i,j,k}^n}{i\Delta r} - \frac{w_{i,j,k+1}^n - w_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} \right]^2 + \\
& + \frac{3}{2} \left[\sin 2j\Delta\varphi \left(\frac{u_{i+1,j,k}^n - u_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} - \frac{v_{i,j+1,k}^n - v_{i,j-1,k}^n}{2\Delta\varphi i\Delta r} - \frac{u_{i,j,k}^n}{i\Delta r} \right) + \right. \\
& + \left. \cos 2j\Delta\varphi \left(\frac{v_{i+1,j,k}^n - v_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} + \frac{u_{i,j+1,k}^n - u_{i,j-1,k}^n}{2\Delta\varphi i\Delta r} - \frac{v_{i,j,k}^n}{i\Delta r} \right) \right]^2 + \\
& + \frac{3}{2} \left[\left(\frac{u_{i,j,k+1}^n - u_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} + \frac{w_{i+1,j,k}^n - w_{i-1,j,k}^n}{2\Delta r} \right)^2 + \left(\frac{v_{i,j,k+1}^n - v_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} + \frac{w_{i,j+1,k}^n - w_{i,j-1,k}^n}{2i\Delta r\Delta\varphi} \right)^2 \right] \Bigg\} .
\end{aligned}$$

Перенос представленной выше схемы в программный код сопровождается выделением двух особых областей сетки в цилиндрических координатах.

Первая особенность счёта возникает на оси, при $r = i = 0$. Использование центральных разностей невозможно, значения параметров при $i = -1$ не определены. Так же необходимо отметить, что при произвольной высоте, заданной переменной k , мы получаем при $i = 0$ значения каждого параметра в количестве J , что невозможно с точки зрения физики – в одной точке может быть только

одно значение. Исходя из этого, значения при $i = 0$ рассчитываются по другим формулам, уже после расчётов в узлах сетки всей остальной области. Учитывая отсутствие сильных разрывов примем, что у всех параметров газа на оси производная равна нулю. Поскольку при $i = -1$ параметры не определены, то используется уравнение правой производной, приравненной к нулю. Получаем значения параметров на оси:

$$f_{0,j,k}^n \approx \frac{4}{3}f_{1,j,k}^n - \frac{1}{3}f_{2,j,k}^n \quad (6)$$

После этого для одного и того же значения k полученные значения усредняются по j .

Вторая особая область сетки появляется при $j = 0$ и $j = J$. Получаем один и тот же угол поворота $\varphi = 0 = 2\pi$. Расчёт этой области «замыкания» ведётся по формулам (2)- (5) для $j = 0$, при этом вместо $(j - 1)$ в формулах используется $(J - 1)$. Полученные значения параметров автоматически переносятся в J .

Таким образом, счёт ведётся в трёх областях. Основная область не содержит особенностей в виде «замыкания» и «оси», она может считаться параллельно с «замыканием». Значения на оси считаются после окончания расчётов в «основной» области и в «замыкании» по формуле (6) и после усредняются, чтобы для каждого значения k при $i = 0$ было лишь одно значение параметра.

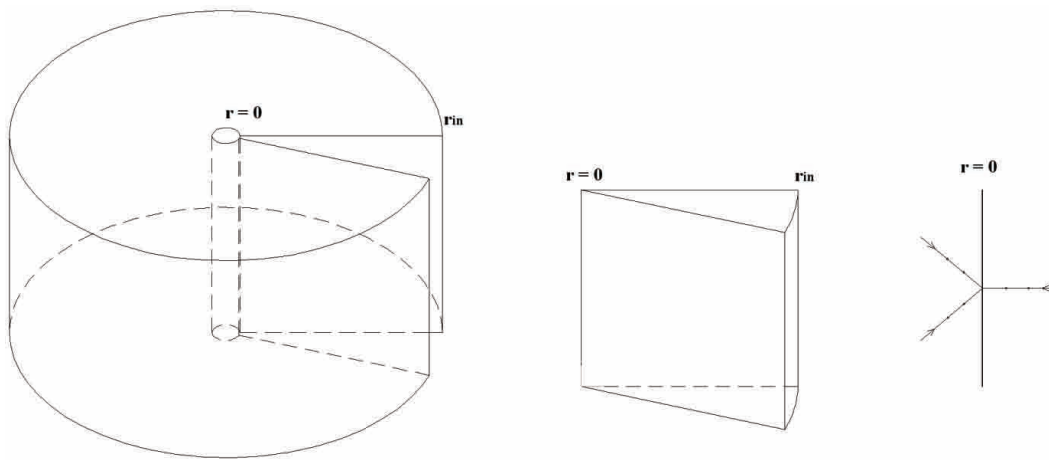


Рис. 1. Выделенные области расчёта

Для проверки правильности счёта по предложенной разностной схеме берётся точное решение ПСУНС [1, 2], описывающее покоящийся в поле силы тяжести газа : составляющие скорости газа во всех точках равны нулю $u = v = w = 0$; температура воздуха линейно падает с ростом высоты

$$T(z) = 1 - k \cdot z = 1 - ((l_* \cdot T_{00})/r_{00}) \cdot z = 1 - 0,1106 \cdot z,$$

где $l_* = 0,0065$ К/м;

плотность воздуха зависит только от высоты:

$$\rho(z) = (1 - 0,1106 \cdot z)^{\nu-1},$$

где $\nu = (\gamma \cdot g)/k = 5,471128$.

Для моделирования был выбран цилиндрический объём воздуха радиусом $r_{00} = 10$ километров и такой же высотой $z_{00} = 10$. Размеры расчётной сетки: $i_{max} = 500$, $j_{max} = 200$, $k_{max} = 500$. На границах расчётной области значения параметров газа полагались неизменными, что определяло граничные условия. Внутри моделируемого объёма по представленным формулам производился расчёт параметров на следующем временном слое в зависимости от значений параметров на слое предыдущем.

Расчеты до 100 000 шагов по времени показали, что отклонение значений конечно-разностного приближения от точного решения не превысило 10^{-10} [3]. Следовательно, представленная явная схема хорошо передаёт известное точное решение для исходной ПСУНС. На рисунке 2 представлено цветное изображение температуры покоящегося однородного газа, которое передаёт счёт.

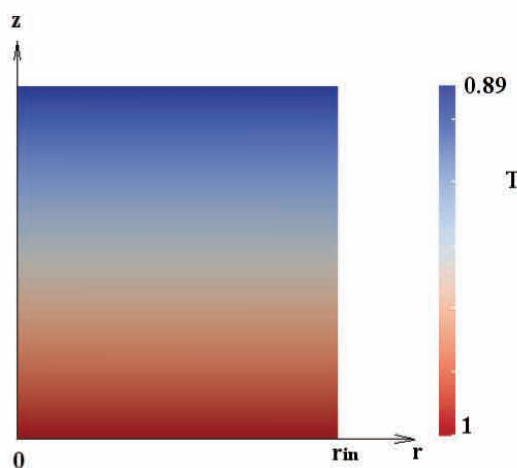


Рис. 2. Цветовое распределение температуры по высоте цилиндра по результатам счёта

Использование модели в предложенном виде требует больших вычислительных мощностей и последующие шаги будут направлены на оптимизацию и распараллеливание счёта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баутин С.П., Обухов А.Г. Численное моделирование трёхмерных нестационарных течений сжимаемого вязкого теплопроводного газа. Екатеринбург : УрГУПС, 2020.
2. Баутин С.П., Крутова И.Ю., Обухов А.Г. Газодинамическая теория восходящих закрученных потоков. Екатеринбург : УрГУПС, 2020.
3. Баутин С.П., Кононов С.Н., Левунина Э.С. Адаптация для кластера расчёта по явной схеме одной газодинамической задачи в цилиндрических координатах // Сборник трудов IX международной конференции «Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике». Новосибирск : ИГИЛ СО РАН, 2020.

NUMERICAL SIMULATION OF CURRENTS IN RISING SWIRLING FLOWS USING A DIFFERENCE SCHEME

S.P. Bautin¹

Professor, Dr.Sc. (Phys.-Math.), e-mail: spbautin@mail.ru

S.N. Kononov²

, e-mail: kononovsn@susu.ru

E.S. Levunina³

, e-mail: elvirka@rambler.ru

¹MEPhI, Snezhinsk, Russia

²SUSU, Ozersk, Russia

³FSUE «PO «Mayak», Ozersk, Russia

Abstract. The paper proposes a variant of solving by the numerical method one gas-dynamic problem posed in the monograph [1]. The proposed complete system of Navier-Stokes equations in cylindrical coordinates using central finite differences is represented by an explicit difference scheme. A software implementation of the account for the known exact solution of the system has been created. The task of parallelizing actions for processing a model on cluster systems is set, which is necessary to reduce the computation time.

Keywords: numerical methods, complete system of Navier-Stokes equations, rising swirling flows gas.

Дата поступления в редакцию: 11.10.2021

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КОММЕРЧЕСКИМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

А.В. Блохин

аспирант, ассистент кафедры «Информатика и вычислительная техника»,
e-mail: sasha_bloh@mail.ru

А.С. Грицай

к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Информатика и вычислительная техника»,
e-mail: aleksandr.gritsay@gmail.com

А.Ю. Горшенин

аспирант, ассистент кафедры «Информатика и вычислительная техника»,
e-mail: augomgtu@gmail.com

Омский государственный технический университет, Омск, Россия

Аннотация. Данная работа посвящена важному вопросу, который касается анализа поведения отдельного участника электроэнергетической системы с целью дальнейшего прогнозирования этого поведения. Для этого были использованы данные почасового потребления электроэнергии торгового центра. Помимо них дополнительно использовались наборы данных температуры окружающей среды и времени. Проведённый анализ в дальнейшем будет использован в построении модели прогнозирования потребления электрической энергии отдельным объектом энергосистемы для улучшения взаимодействия между потребителем и поставщиком электрической энергии.

Ключевые слова: анализ данных, электрическая энергии, потребитель и поставщик электрической энергии, прогнозирование данных, метеоданные, время.

Введение

В наши дни немаловажную роль в обеспечении надёжной и эффективной работы энергетической системы играет прогнозирование поведения различных участников этой системы. Прогнозирование потребления электроэнергии влияет на эффективность распределения выработки и последующего сбыта электрической энергии между различными участниками единой энергосистемы. Помимо этого, становится возможной оптимизация текущих и предстоящих режимов работы источников, генерирующих электрическую энергию и поддержка мощностного баланса в энергосистеме. Также данные прогнозы оказывают высокое влияние на обеспечение надёжной и отказоустойчивой подачи электроэнергии потребителям, модернизации существующей и развитие новой

энергетической инфраструктуры. Однако прогнозирование может быть полезно не только с технической точки зрения, но и с экономической. К примеру, с его помощью становится возможным повышение экономической обоснованности операций продажи и покупки электроэнергии на рынке [1,2].

За последние 50 лет электропотребление в мире увеличилось в более чем 2 раза. При этом основной процент электропотребления от всей сети занимают промышленные предприятия и нежилые объекты. В связи с этим имеет высокое значение решение проблемы энергоэффективности. Решения данной проблемы состоит в построении точного прогноза потребления электроэнергии для отдельных субъектов оптового рынка электроэнергии. Для оптимизации потребления данных предприятий и разработки стратегии эффективного потребления, необходимы инструменты точного прогноза, которые будут учитывать временные и метеорологические факторы [3]. В настоящее время в Российской Федерации действует рынок по оптовой продаже электроэнергии и мощности, который поделён на ценовые зоны. В каждой такой ценовой зоне функционируют различные типы электростанций, такие как гидроэлектростанции, угольные тепловые электростанции, атомные, а также альтернативные – солнечные и ветровые электростанции. Системный оператор формирует заявки на генерации. Электрической энергии по часовым интервалам суток [4,6]. Особое значение представляет точной почасовой заявки на потребление электроэнергии принимает в современных рыночных условиях. Грамотное решение этой задачи позволяет сократить финансовые издержки, обусловленные отклонением фактического уровня энергопотребления от заявленного ранее. Таким образом, более высокая точность заявки приводит к снижению переплаты за отклонения и, в итоге, снижает затраты на электроэнергию [7]-[10].

Исследование направлено на выявление зависимостей между потреблением электрической энергии объектом электроэнергетической системы и временными и метеорологическими факторами. Под электроэнергетической системой понимается единая электроэнергетическая сеть с подключенными к ней как традиционными источниками энергии (парогазовые установки, теплоэнергоцентрали (ТЭЦ), атомные электростанции) так и альтернативными источниками энергии (в частности, солнечными электростанциями, ветровыми электростанциями), работающими в условиях рынка по оптовой продаже электроэнергии и мощности, на которые действуют различные факторы, такие как, температура окружающего воздуха и различные временные промежутки в сутках [11].

1. Постановка задачи

Обеспечение энергетической безопасности страны является важнейшей задачей, достижение которой невозможно без широкого внедрения цифровых средств обработки данных и искусственного интеллекта. В качестве одних из приоритетных направлений развития электроэнергетической отрасли России рассматриваются повышение энергосбережения и энергоэффективности. При достижении указанных характеристик необходимо одновременное обеспечение экономической и коммерческой обоснованности при учёте дефицита

маневренных мощностей. Необходимость прогнозирования и управления режимами электропотребления в промышленности обусловлена ростом электрических нагрузок в условиях дефицита активной мощности в электросетях России. Неуклонный рост удельных показателей затрат энергии на производство единицы продукции приводит к увеличению затрат на производство, что неизбежно отражается на конечной цене продукта [12].

Можно отметить, что в настоящее время имеет место широкое привлечение службами энергоменеджмента цифрового формата для решения задач внутреннего учёта, аудита и потребления энергоресурсов. Из обзора научных публикаций следует, что далеко не все задачи по эффективному управлению энергопотреблением на предприятиях нашли успешное решение [1].

Анализ приведенных материалов показывает, что в качестве важнейшего ресурса в деле повышения эффективности управления энергопотреблением можно рассматривать прогнозирование объемов потребления электрической энергии на конкретном промышленном предприятии [3]. Для того, чтобы говорить о какой-либо модели прогнозирования для конкретного предприятия, изначально стоит провести анализ исходных данных. Сам анализ и его результаты будут описаны в этой работе далее.

2. Теория и эксперименты

В качестве исходных данных авторами были взяты доступные в сети Интернет данные о потреблении электроэнергии гипермаркетом. Данные были предоставлены системным оператором региона Новая Англия, США [3, 5].

Полученные данные, состоят из 8784 записи, включающие в себя:

- почасовое потребление электроэнергии (МВт/ч) за 2016 год, полученное с помощью интеллектуального прибора учёта;
- исторические почасовые метеорологические данные о температуре окружающего воздуха ($^{\circ}\text{C}$) за 2016 год, полученные с помощью метеорологических датчиков специализированного института.

Для выявления зависимости электропотребления предприятия от временных интервалов в сутках и от температуры окружающей среды были проведения исследования, включающие в себя два этапа, а именно:

- рассмотрение почасового суточного электропотребления за неделю в летний период времени с учётом температуры окружающей среды;
- рассмотрение почасового суточного электропотребления в летний период времени с учётом температуры окружающей среды [3].

На первом этапе для анализа рассматривались данные электропотребления на 7 суток в зимний период (февраль 2016 года) и температура в эти же сутки и по этим же временным интервалам, которые представлены в таблице 1 на рис. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1. Временные ряды потребления и температуры за одну неделю зимой

Day	Monday		Tuesday		...	Saturday		Sunday	
Hour	Consumption (MW/h)	Temperature ($^{\circ}C$)	Consumption (MW/h)	Temperature ($^{\circ}C$)	...	Consumption (MW/h)	Temperature ($^{\circ}C$)	Consumption (MW/h)	Temperature ($^{\circ}C$)
1	0,342	6,30	0,366	12,60	...	0,320	3,30	0,278	-1,40
2	0,351	7,10	0,386	10,50	...	0,324	2,10	0,300	-0,40
3	0,344	7,20	0,374	10,40	...	0,311	1,40	0,281	0,20
4	0,345	5,70	0,357	8,80	...	0,329	2,10	0,278	0,50
5	0,336	4,30	0,357	7,70	...	0,308	1,60	0,278	1,00
	...	...	...	...	...	...	...	...	...
20	0,759	15,90	0,716	13,10	...	0,789	5,70	0,692	6,50
21	0,726	11,10	0,702	13,40	...	0,749	2,80	0,618	6,60
22	0,581	10,00	0,584	12,30	...	0,598	0,70	0,559	4,40
23	0,417	8,50	0,406	11,40	...	0,371	-0,70	0,410	4,90
24	0,373	14,00	0,333	10,60	...	0,283	-1,00	0,321	5,10

Из рис. 1 можно наблюдать временные ряды электропотребления на которых видно, что возрастание потребления электроэнергии происходит с 05:00 и остаётся на высоком уровне до 19:00. Из этого можно сделать вывод что именно этот временной промежуток играет важную роль в суточном потреблении электроэнергии.

На рис. 2 наблюдаем временные ряды изменения температуры по часам в сутках. Как видно повышение температуры происходит в промежутке между 05:00 и 09:00 в сторону увеличения, а в промежутке между 17:00 и 20:00 в сторону уменьшения. На втором этапе для анализа рассматривались данные электропотребления на 7 суток в летний период (июль 2016 года) и температура в эти же сутки и по этим же временным интервалам, которые представлены в таблице 2 на рис. 3 и 4 соответственно.

На рис. 3 можно наблюдать временные ряды электропотребления в сутки летом, на которых видно, что возрастание потребления электроэнергии происходит с 06:00 и остаётся на высоком уровне до 15:00 и потом снижается. По сравнению с наблюдениями в зимний период временной интервал возрастания электропотребления сдвинулся, что говорит о влиянии часов в сутках на потребление электроэнергии. На рис. 4 представлены временные ряды температуры по часам в сутках летом. Из представленных графиков видно, что увеличение температуры окружающего воздуха происходит на интервале с 06:00

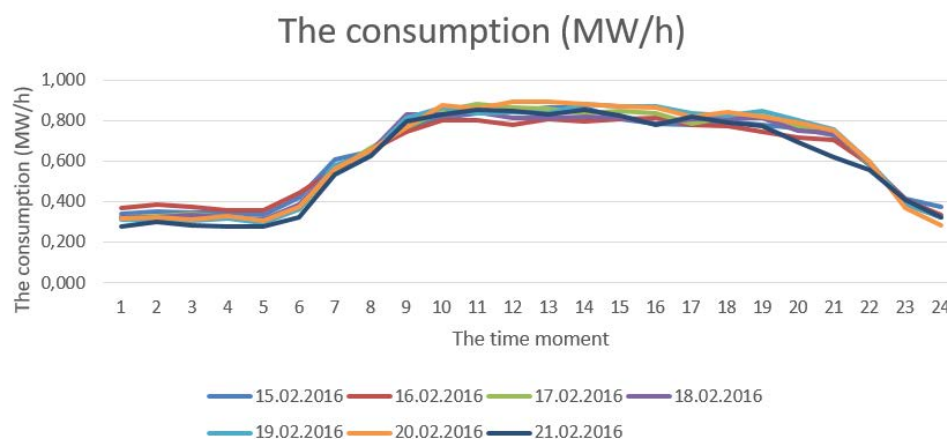


Рис. 1. Временной ряд электропотребления за одну неделю (с 15.02.2016 по 21.02.2016)

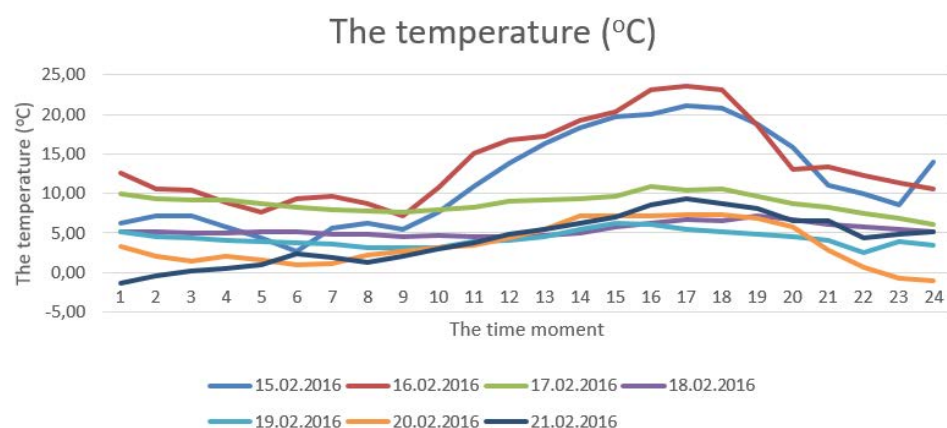


Рис. 2. Временной ряд температуры окружающей среды за одну неделю (с 15.02.2016 по 21.02.2016)

до 08:00, далее остаётся довольно высокой до 20:00, далее температура стремительно понижается.

После определения параметров, влияющих на потребление электроэнергии, были коэффициенты корреляции между параметрами и сами электропотребление, которые представлены в таблице 3. В приведённой таблице видно, что значения весов параметров «Hour of day» and «Temperature» примерно равны, что говорит об их одинаковом влиянии на количество потребления электроэнергии.

Заключение

В представленной работе была изложена актуальность направления исследований авторов. Проведён первичный анализ набора данных о потреблении электроэнергии гипермаркетом за 2016 год. Данные были представлены в ви-

Таблица 2. Временные ряды потребления и температуры за одну неделю летом

Day	Monday		Tuesday		...	Saturday		Sunday	
Hour	Consumption (MW/h)	Temperature (°C)	Consumption (MW/h)	Temperature (°C)	...	Consumption (MW/h)	Temperature (°C)	Consumption (MW/h)	Temperature (°C)
1	0,373	18,10	0,395	16,50	...	0,437	23,70	0,450	25,40
2	0,345	15,40	0,375	15,80	...	0,435	23,00	0,441	21,90
3	0,355	14,50	0,392	16,20	...	0,437	22,80	0,476	20,50
4	0,336	13,80	0,389	15,90	...	0,415	22,20	0,474	20,80
5	0,325	14,40	0,345	15,00	...	0,413	21,90	0,448	18,60
	...	...	...	...	...	...	...	...	...
20	0,949	29,80	0,955	30,50	...	1,112	30,90	0,987	28,50
21	0,896	29,00	0,927	30,00	...	1,027	29,60	0,887	27,50
22	0,711	25,20	0,748	26,80	...	0,859	28,00	0,719	25,40
23	0,491	19,30	0,528	20,20	...	0,611	26,90	0,536	23,00
24	0,412	17,40	0,472	23,70	...	0,489	25,30	0,455	21,50

де почасовой записи показаний прибора учёта потребления электроэнергии. Помимо этого, были использованы почасовые исторические метеорологические данные о температуре окружающего воздуха в это же время.

Результатом представленной работы является выявление факторов, влияющих на электропотребление объекта энергосистемы и расчёт весов их корреляции друг с другом. Данные результаты будут полезны для проведения дальнейшего исследования, а именно построение модели прогнозирования потребления электроэнергии с учётом влияния временного и метеорологического факторов. Рассмотрение интеллектуальных методов прогнозирования временных рядов и построение модели прогнозирования потребления электрической энергии объектом оптового рынка электроэнергии является следующим этапом исследований авторов. Результаты данных исследований будут представлены в научных публикациях позже.

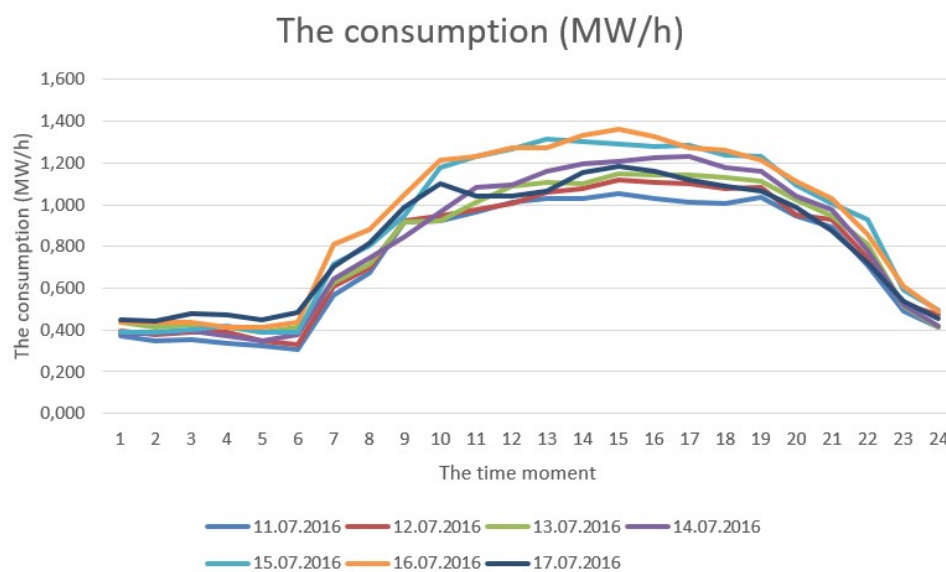


Рис. 3. Временной ряд электропотребления за одну неделю (с 11.07.2016 по 17.07.2016)

Таблица 3. Корреляция

Атрибут	Электропотребление	Час в сутках	Температура воздуха
Электропотребление	1	0,411	0,434
Час в сутках	0,411	1	0,198
Температура воздуха	0,434	0,198	1

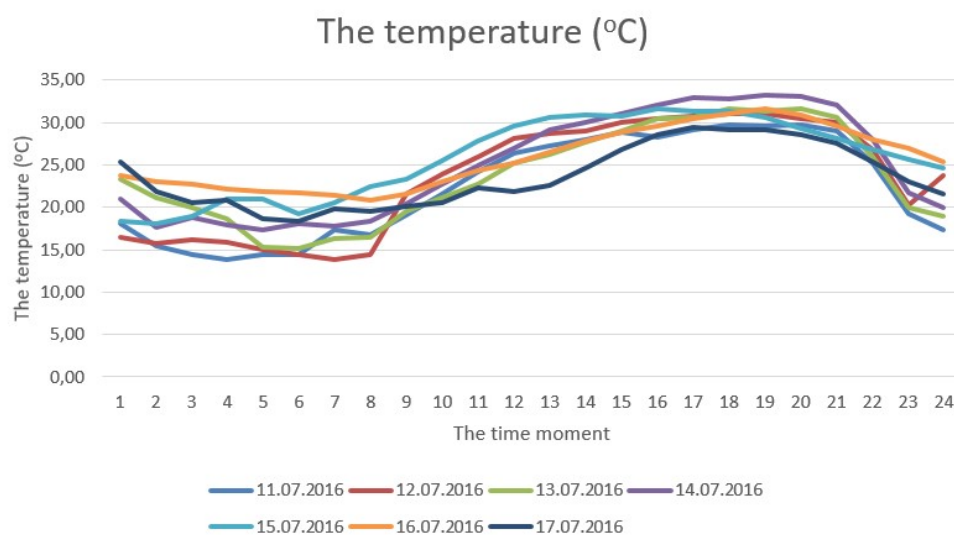


Рис. 4. Временной ряд температуры окружающей среды за одну неделю (с 11.07.2016 по 17.07.2016)

ЛИТЕРАТУРА

1. Kendall M.J., Stewart A. Multivariate statistical analysis and time ranks. Moscow : Nauka, 2006. 736 p.
2. Oskin S.P., Nikiforov D.S., Nesterova M.E. Forecasting the volume of electricity consumption in an industrial enterprise using the methods of statistical analysis. Warsaw : Colloquium-journal, 2019. V. 25–2, No. 49. P. 80–83.
3. Pitjan A., Oprea S., Carutasu G., Petrosanu D., Bara A. Coculescu C. Devising Hourly Forecasting Solutions Regarding Electricity Consumption in the Case of Commercial Center Type Consumers. Romania : Energies, 2017. V. 10. P. 36.
4. Khamitov R.N., Gritsai A.S., Tyunkov D.A., Dugin D.D., Sinitsin G.E. 2017 On the method for constructing a training sample in the problems of short-term prediction of electric consumption taking into account the criteria of information and compactness // Industrial Energy. 2017. V. 8. P. 23–28.
5. Gritsay A.S., Makarov V.V., Khamitov R.N., Tatevosyan A.A., Gritsay S.N. The method of short-term forecast electricity load with combined a sinusoidal function and an artificial neural network // Proceedings of the 2019 IEEE Conf. of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering. 2019. P. 523–526.
6. Tyunkov D.A., Gritsay A.S., Rodionov V.S., Sapilova A.A., Blokhin A.V. Paltseva N.A. A neural network model for short-term PV — energy forecasting // Journal of Physics: Conf. Series. 2020. V. 1546.
7. Tyunkov D.A., Gritsay A.S., Potapov V.I., Khamitov R.N., Blohin A.V., Kondratukova L.K. Short-term forecast methods of electricity generation by solar power plants and its classification // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. Mechanical Science and Technology Update. 2019. V. 1260. P. 052033-1–052033-6.
8. Singh V.P., Vijay V., Bhatt M.S., Chaturvedi D.K. Generalized neural network methodology for short term solar forecasting // 2013 Proceedings of 13th International Conference on Environment and Electrical Engineering. 2013. P. 6737883.
9. Li L.L., Cheng P., Lin H.C., Dong H. Short-term output power forecasting of photovoltaic systems based on the deep belief net // Advances in Mechanical Engineering. 2017. V. 9, No. 9.
10. Wang J., Ran R., Zhou Y. A Short-Term Photovoltaic Power Prediction Model Based on an FOS-ELM Algorithm // Applied Sciences. 2017. V. 7, No. 4. P. 423.
11. Filipe J.M., Bessa R.J., Sumaili J., Tom R., Sousa J.N. A hybrid short-term solar power forecasting tool // 18th International Conference on Intelligent System Application to Power Systems (ISAP): conference proceedings. 2015. P. 7325543.
12. Рудной Г.И. Выбор функции активации при прогнозировании нейронными сетями // Машинное обучение и анализ данных. 2011. Т. 1, № 1. С. 16–19.

INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING ELECTRICITY CONSUMPTION BY A COMMERCIAL ENTERPRISE

A.V. Blokhin

graduate student, assistant lecturer at the Department of Informatics and Computer Engineering of the Omsk State Technical University, e-mail: sasha_bloh@mail.ru

A.S. Gritsay

PhD (Eng.), associate professor, Head of the Department of Informatics and Computer Engineering of the Omsk State Technical University ,
e-mail: aleksandr.gritsay@gmail.com

A.U. Gorshenin

graduate student, assistant lecturer at the Department of Informatics and Computer Engineering of the Omsk State Technical University, e-mail: augomgtu@gmail.com

Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Abstract. This work is devoted to an important issue that concerns the analysis of the behavior of an individual participant in the electric power system in order to further predict this behavior. To do this, we used data on the hourly electricity consumption of the shopping center. In addition to them, data sets of ambient temperature and time were additionally used. The analysis carried out will be further used in building a model for predicting the consumption of electrical energy by a separate object of the energy system to improve the interaction between the consumer and the supplier of electrical energy.

Keywords: data analysis, electrical energy, consumer and supplier of electrical energy, data forecasting, weather data, time.

Дата поступления в редакцию: 23.05.2022

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И МЕТЕОУСЛОВИЙ ВЛИЯЮЩИХ НА ЭНЕРГОВЫРАБОТКУ

А.Ю. Горшенин¹

аспирант, ассистент кафедры «Информатика и вычислительная техника»,
e-mail: augomgtu@gmail.com

А.В. Блохин¹

аспирант, ассистент кафедры «Информатика и вычислительная техника»,
e-mail: sasha_bloh@mail.ru

И.О. Шука²

к.т.н., доцент факультета очного отделения, e-mail: oat-schuka@mail.ru

¹Омский государственный технический университет, Омск, Россия

²Сибирский институт бизнеса и информационных технологий, Омск, Россия

Аннотация. Исследуются характеристики ветроэнергетических установок как источников возобновляемой энергии. Рассмотрены основные типы ветроэнергетических установок, различающиеся конструктивными параметрами и режимами работы. Рассмотрены конструктивные особенности ветроэнергетических установок. Выявлены недостатки ветроэнергетики. Проблема изменчивости выработки энергии ветра исследуется на основе данных о выработке энергии ветра. Получены графики данных о выработке электроэнергии и метеорологических условиях, и выявлена взаимосвязь между ними. Рассчитаны коэффициенты корреляционной зависимости.

Ключевые слова: прогнозирование, энергосыработка, данные, ветроэлектростанция.

Введение

Использование энергии ветра играет важную роль в жизни общества из-за его экономического и экологического значения. Основной задачей является то, что знание выработки электроэнергии ветроэлектростанциями (ВЭС), является неотъемлемой частью поддержки принятия решений с точки зрения технического обслуживания ВЭС, распределения электроэнергии между потребителями и хранением энергии в накопителях [1–3].

Прерывистый характер и низкий уровень контроля над ветровыми условиями ставят перед каждым сетевым оператором одну и ту же проблему при их успешной интеграции для удовлетворения текущего спроса [4, 5]. Добиться удовлетворительного результата сложно из-за флуктуационных характеристик скорости ветра [6]. В сочетании с необходимостью прогнозировать спрос и балансировать его с предложением, оператор сети теперь также должен прогно-

зировать доступность ветряных и солнечных электростанций в течение следующего часа, дня или недели [7]. Помимо сдерживания преимуществ возобновляемой энергии, неправильное планирование ветряных электростанций может привести к ненужному резервированию, более высоким затратам, переложеным на потребителя, и использованию других более дорогих и загрязняющих энергоресурсов [8, 9].

1. Постановка задачи

Основной задачей исследования являлось выявление/определение параметров, влияющих на выработку электроэнергии ВЭС в зависимости от погодных условий. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) занимают важное место на повестке дня правительств различных стран, в том числе и правительства Российской Федерации. Ветряные электростанции вырабатывают максимальную мощность в периоды низких нагрузок ночью. Как правило, ВЭС следует выводить из эксплуатации в тех случаях, когда вырабатываемая ими мощность приводит к перегрузкам сети. С экономической точки зрения, выгодно производить электроэнергию в то время, когда её цены значительно превышают затраты на выработку, с учётом обслуживания станции. Хранение энергии предоставляет возможность для оптимального участия на рынке электроэнергии всех типов когенерационных установок — на ископаемом топливе и ВИЭ.

2. Теория и эксперименты

В связи с увеличением доли объектов на базе ВИЭ с периодической выработкой электроэнергии в энергобалансе прогнозирование их выработки будет приобретать все большее значение для надёжности энергосистем [10]. В связи с развитием ВЭС, как наземных, так и морских, дальнейшее развитие прогнозирования системы должны быть направлены на:

- повышение точности прогнозов для соответствующего сокращения объёма резервных мощностей [5];
- внедрение методов прогнозирования в распределительных сетях для своевременного распознавания критических режимов;
- внедрение систем прогнозирования с возрастающей ролью обмена данными между магистральными и распределительными сетями/

Инструменты прогнозирования разрабатываются и внедряются с 2000 года, на данный момент наиболее популярными являются методы прогнозирования с использованием искусственной нейронной сети [11, 12]. Для оценки возможности прогнозирования, необходимо предварительно обработать данные. В качестве исходных данных авторами были взяты в сети Интернет данные о выработке электроэнергии ВЭС [13]. Исходные данные приведены в таблице 1.

Полученные данные состоят из 4256 строк и 6 столбцов, которые включают в себя:

- почасовую выработку электроэнергии (кВт/ч), полученные с помощью интеллектуального прибора учёта;

Таблица 1. Исходные данные выработки и метеорологических условий

N	Time stamp	System power generated, (kW)	Wind speed, (m/s)	Wind direction, (deg)	Pressure, (atm)	Air temperature, (°C)
1	Feb 1, 12:00 am	85.99	4.053	98	0.996237	17.863
2	Feb 1, 01:00 am	145.372	4.538	114	0.999297	17.863
3	Feb 1, 02:00 am	152.019	4.597	144	0.996533	17.863
4	Feb 1, 03:00 am	280.383	5.467	158	0.996829	17.863
5	Feb 1, 04:00 am	188.237	4.894	165	0.996632	17.563
...	...	...	...	...	...	...
4252	Jul 28, 03:00 am	112.625	4.32	179	0.993959	26.963
4253	Jul 28, 04:00 am	122.101	4.399	196	0.992775	26.663
4254	Jul 28, 05:00 am	32.4379	3.45	185	0.992281	26.463
4255	Jul 28, 06:00 am	2.818	2.818	192	0.992677	25.913
4256	Jul 28, 07:00 am	2.185	2.185	168	0.993072	25.363

- ретроспективные метеорологические данные о скорости и направлении ветра, температуре и давлении воздуха.

Ветрогенерация обладает свойством непостоянности, это было проверено визуально в сравнении показателей выработки электроэнергии за четыре недели и шести месяцев. Непостоянство выработки электроэнергии отображены на рис. 1 и рис. 2.

Показанные графики на рис. 1 и рис. 2 подтверждают то, что выработка ветроэлектроэнергии имеет свойство непостоянности. Для определения возможности прогнозирования выработки электроэнергии, был проведён анализ полученных данных, который включает в себя два этапа:

- визуальный анализ данных;
- расчёт оценки корреляционных зависимостей.

Авторы провели визуальный анализ данных по выработке электроэнергии, анализ приведён на рис. 3.

График показывает, что 6 февраля имеется высокая мощность выработки электроэнергии. В то время как в другие дни увеличение выработки начинается после 11 часов утра, либо повышается незначительно.

На рис. 4 отображается визуальный анализ данных скорости ветра.

Как можно заметить из данного графика, что 6 февраля скорость ветра значительно больше, чем в другие дни. Также видно, что скорость ветра примерно на одном уровне до 11 часов утра, далее идёт повышение скорости ветра. Исходя из полученных графиков, можно сделать вывод, что имеется зависимость между скоростью ветра и выработкой электроэнергии ВЭС.

Также авторами были решено проверить визуально остальные параметры,

такие как температура и давление воздуха, графики приведены на рис. 5 и рис. 6.

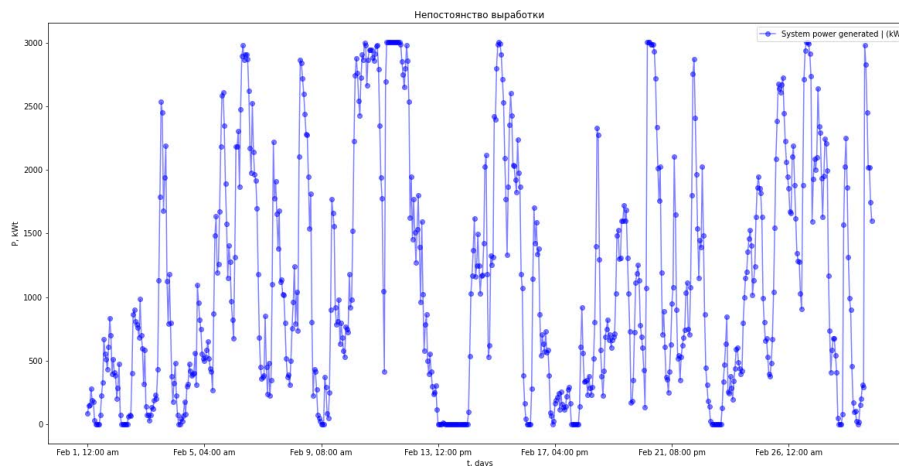


Рис. 1. Непостоянство выработки в течении четырех недель

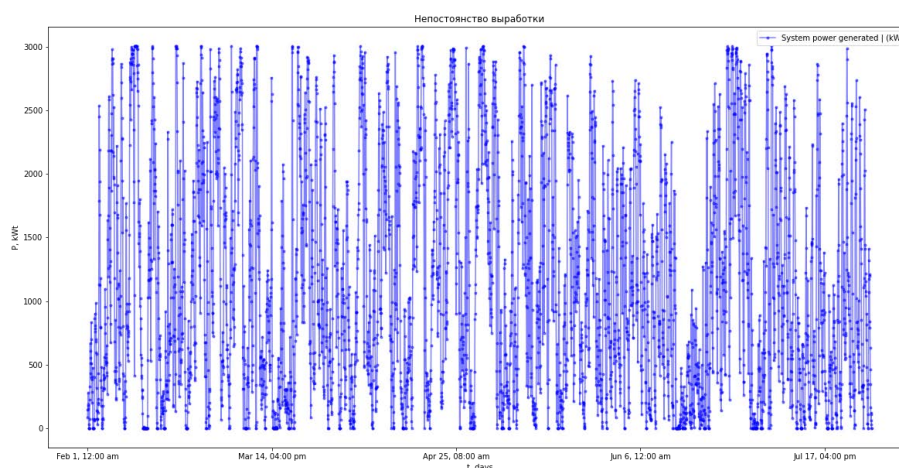


Рис. 2. Непостоянство выработки в течении шести месяцев

Как можно увидеть из данной корреляционной матрицы, что имеется сильная корреляция между скоростью ветра и выработкой электроэнергии. Также имеется небольшая отрицательная зависимость между давлением и температурой воздуха. Из этого можно сделать вывод о том, что выработка электроэнергии ВЭС имеет сильную зависимость от скорости ветра.

Для наглядности авторами были составлены графики выявленных зависимостей, приведённые на рисунках 8 и 9.

Как можно увидеть из графиков, данные параметры не сильно влияют на выработку электроэнергии или на скорость ветра, но между собой имеют небольшую обратную зависимость. Для более точного анализа данных, был проведён

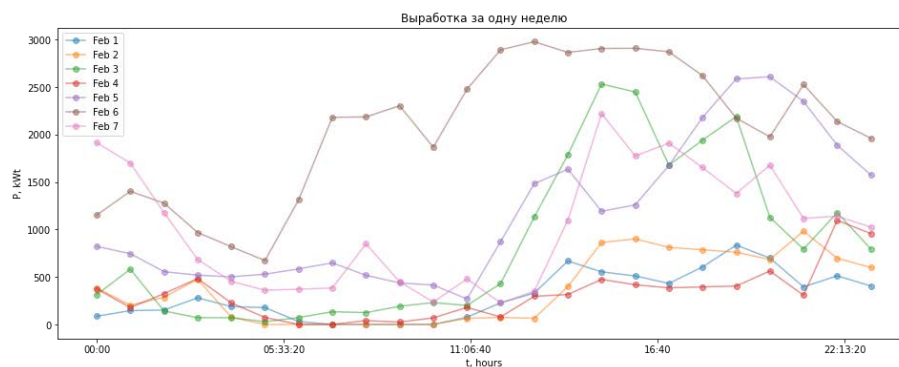


Рис. 3. Выработка электроэнергии ВЭС за 1-7 февраля

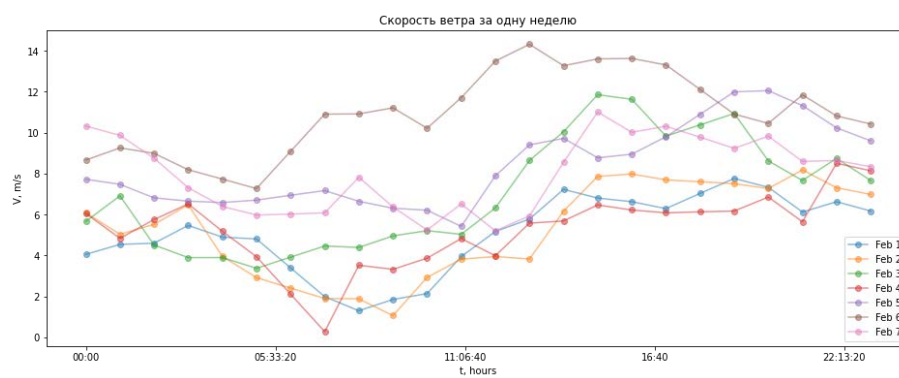


Рис. 4. Скорость ветра за 1-7 февраля

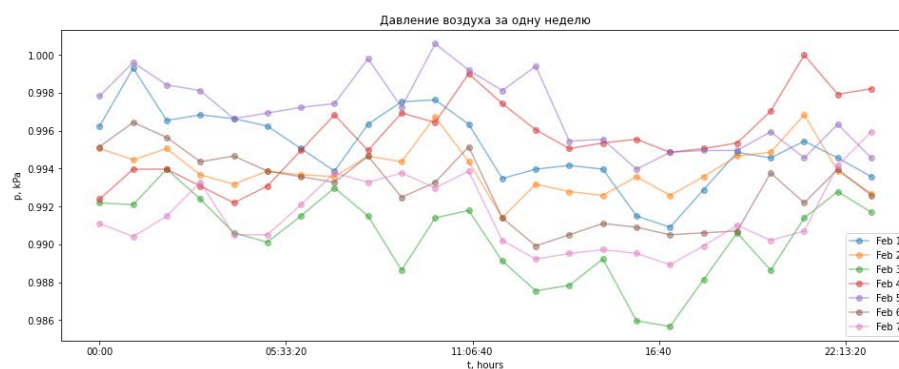


Рис. 5. Давление воздуха за 1-7 февраля

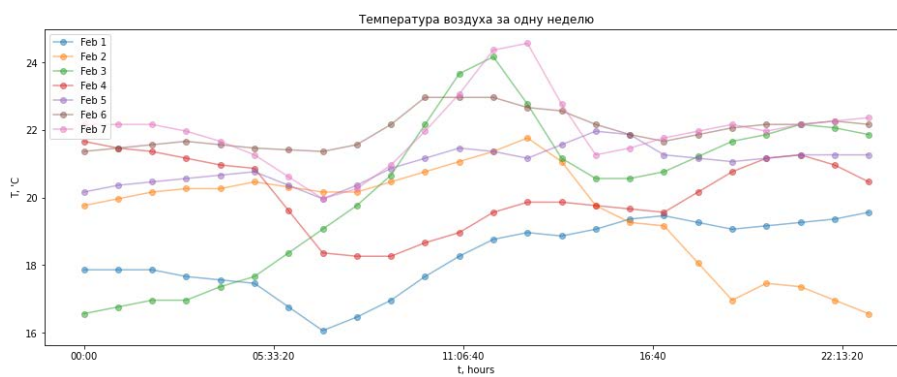


Рис. 6. Температура воздуха за 1-7 февраля

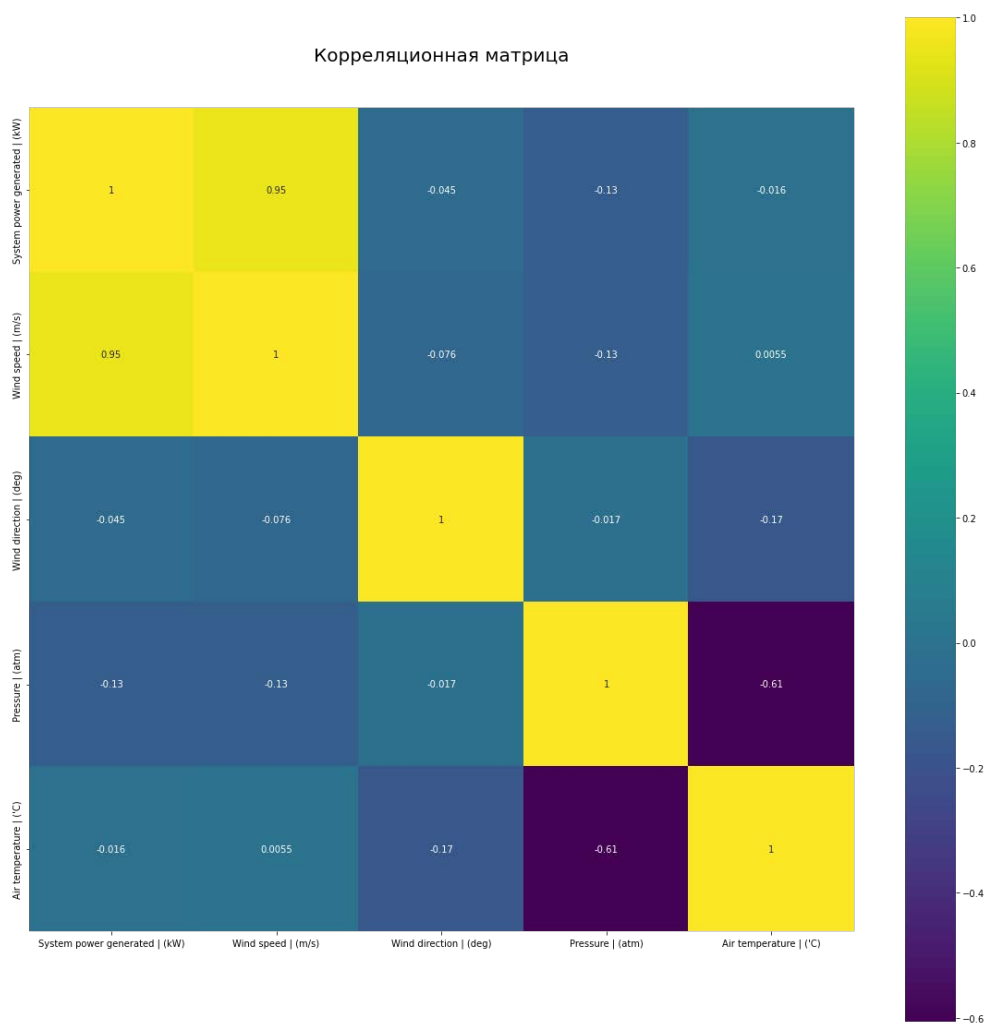


Рис. 7. Корреляционная матрица

расчёт коэффициентов корреляционной зависимости. Корреляционная матрица приведена на рис. 7.

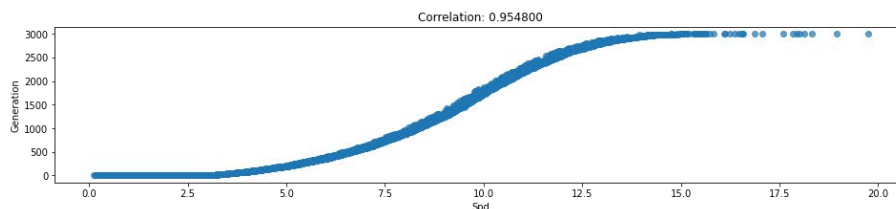


Рис. 8. График зависимости выработки электроэнергии ВЭС от скорости ветра

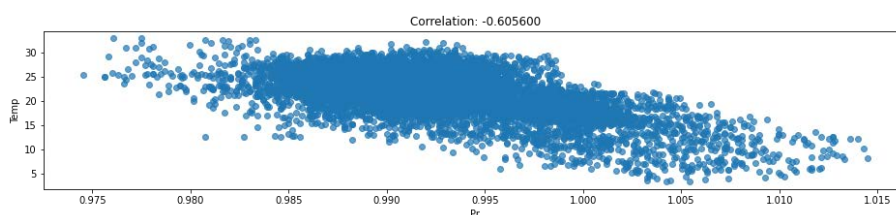


Рис. 9. График зависимости температуры воздуха от давления воздуха

Рисунок 8 демонстрирует зависимость между выработкой электроэнергии ВЭС и скоростью ветра. При возрастании скорости ветра, возрастает выработка электроэнергии. Рисунок 9 отображает небольшую отрицательную зависимость между температурой и давлением воздуха.

Заключение

В представленной работе была изложена актуальность направления исследований авторов. Проведён анализ набора данных о выработке электроэнергии ВЭС и метеорологических данных из местоположения ВЭС. Данные были представлены в виде почасовой записи.

Результатом представленной работы является выявление факторов, влияющих на выработку электроэнергии ВЭС и расчёт коэффициентов корреляции параметров. Также было установлено, что существенным недостатком ветроэнергетики является нестабильность вырабатываемой мощности. Существует высокая корреляция между выработкой электроэнергии и метеорологическими параметрами. Следовательно, из чего можно сделать вывод, что выработка электроэнергии ВЭС имеет высокую зависимость от показателя скорости ветра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисова Л.А. Модели и методы проектирования систем управления объектами с переменными параметрами. Омск : Омский государственный технический университет, 2014. 168 с.

2. Manwell J.F., Mc Gowan J.G., Rogers A.L. Wind energy explained: theory, design and application. 2nd edition, Wiley, England, 2009.
3. Бухгольц Б.М., Стычински З.А. Smart Grids — основы и технологии энергосистем будущего. М. : МЭИ, 2017. 460 с.
4. Shanker T., Singh R.K. Wind energy conversion system. A review Students Conf. on Engineering and Systems (SCES). 2012. P. 1–6. doi: 10.1109/SCES.2012.6199044
5. Khamitov R.N., Gritsai A.S., Tyunkov D.A., Dugin D.D., Sinitsin G.E. On the method for constructing a training sample in the problems of short-term prediction of electric consumption taking into account the criteria of information and compactness // Industrial Energy. 2017. No. 8. P. 23–28
6. Денисова Л.А. Математическая модель цифровой системы регулирования с переменными параметрами // Автоматизация в промышленности. 2011. № 9. С. 45–48.
7. Хомутов С.О., Хамитов Р.Н., Грицай А.С., Серебряков Н.А. Методика формирования обучающей выборки в задачах краткосрочного прогнозирования электропотребления гарантирующего поставщика // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 2. С. 227–233.
8. О методе построения обучающей выборки в задачах краткосрочного прогнозирования электропотребления с учётом критериев информативности и компактности / Р.Н. Хамитов, А.С. Грицай, Д.А. Тюньков [и др.] // Промышленная энергетика. 2017. № 8. С. 23–28.
9. Потапов В.И., Грицай А.С., Тюньков Д.А., Синицин Г.Э. Использование нейронной сети для построения краткосрочного прогноза электропотребления ООО «Омская энергосбытовая компания» // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327, № 8. С. 44–51.
10. Bundesnetzagentur: Annual report about security of supply
URL: http://www.bundesnetzagentur.de/cln1911/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/VersorgungssicherheitStromnetze/Versorgungsqualitaet/Versorgungsqualitaet-node.html (дата обращения: 01.06.2022).
11. Tyunkov D.A., Gritsay A.S., Rodionov V.S., Sapilova A.A., Blokhin A.V., Paltseva N.A. A neural network model for short-term PV — energy forecasting // Journal of Physics: Conf. Series. 2020. V. 1546.
12. О методе построения обучающей выборки в задачах краткосрочного прогнозирования электропотребления с учетом критериев информативности и компактности / Р.Н. Хамитов, А.С. Грицай, Д.А. Тюньков [и др.] // Промышленная энергетика. 2017. № 8. С. 23–28.
13. Kaggle: Your home for Data Science. URL: <https://www.kaggle.com/pravdomirdobrev/texas-wind-turbine-dataset-simulated?select=TexasTurbine.csv> (дата обращения: 01.06.2022).

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF WIND FARMS AND WEATHER CONDITIONS AFFECTING ENERGY GENERATION

A.Y. Gorshenin¹

graduate student, assistant lecturer at the Department of Informatics and Computer Engineering of the Omsk State Technical University, e-mail: augomgtu@gmail.com

A.V. Blokhin¹

graduate student, assistant lecturer at the Department of Informatics and Computer Engineering of the Omsk State Technical University, e-mail: sasha_bloh@mail.ru

I.O. Shchuka²

PhD (Eng.), associate professor of the Faculty of Full-time Department,
e-mail: oat-schuka@mail.ru

¹Omsk State Technical University, Omsk, Russia

²Siberian Institute of Business and Information Technologies, Omsk, Russia

Abstract. The characteristics of wind power plants as sources of renewable energy are investigated. The main types of wind power plants, differing in design parameters and operating modes, are considered. Design features of wind power plants are considered. The shortcomings of wind energy are revealed. The issue of wind power generation variability is investigated based on wind power generation data. Graphs of data on power generation and meteorological conditions are obtained, and the relationship between them is revealed. Correlation dependence coefficients are calculated.

Keywords: forecasting, energy generation, data, wind farm.

Дата поступления в редакцию: 06.06.2022

АЛГОРИТМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ НАПРАВЛЕННОСТИ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

А.В. Еремеев

д.ф.-м.н., доцент, e-mail: eremeev@ofim.oscsbras.ru

Н.Н. Тюнин

аспирант, e-mail: n.n.tyunin@gmail.com

Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Омский филиал, Омск

Аннотация. Задача оптимизации направленности фазированных антенных решёток для радиосвязи коротковолнового диапазона сформулирована как невыпуклая задача квадратичного программирования. С учётом специфики рассматриваемой задачи предложен гибридный алгоритм, основанный на методе дифференциальной эволюции, методе штрафных функций и градиентной оптимизации. Корректировка недопустимых решений осуществляется посредством их масштабирования. Штрафной коэффициент выбирается адаптивно в процессе работы алгоритма. Проведён вычислительный эксперимент, в котором предложенный алгоритм сравнивается с коммерческим решателем BARON, основанном на многократном применении алгоритма локального поиска и методе ветвей и границ, а также с решателем ANTIGONE и градиентным алгоритмом. Кроме того, исследован эффект от учёта симметрий рассматриваемой задачи. По результатам эксперимента можно сделать вывод о конкурентоспособности предложенного гибридного алгоритма, в особенности на задачах большой размерности.

Ключевые слова: задача оптимизации, фазированная антенная решётка, квадратичное программирование, коротковолновый диапазон, дифференциальная эволюция.

Введение

В настоящее время одной из актуальных задач в области разработки и анализа эффективных систем радиосвязи является задача оптимизации направленности фазированных антенных решёток (ФАР), представляющих собой антенные системы, распределение фаз и амплитуд на элементах которых позволяет получать направленное излучение. Будучи собранными в антенную систему и разведёнными в пространстве, излучатели формируют диаграмму направленности, которая зависит от расположения и конструкции излучателей, а также выбора фаз и амплитуд сигналов, подаваемых на вход излучателей.

В диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ) задачи оптимизации фаз и амплитуд излучателей, как правило, решаются с использованием некоторых упроща-

ющих предположений [1–3]. Однако, в диапазоне высоких частот (ВЧ) задача оптимизации направленности ФАР оказывается более сложной, и потому менее изучена [4, 5]. При ограничении суммарной мощности, подаваемой на антенную систему, задача выбора фаз и амплитуд на излучателях может быть решена аналитически [6]. Однако, при ограничении на мощность по каждому входу антенной системы требуется решение невыпуклых задач квадратичного программирования [7]. Вообще говоря, задачи квадратичного программирования являются NP-трудными [8]. Для решения таких задач могут применяться методы ветвей и границ [9], отсечений [10], DC-программирования [11], полуопределённой релаксации [7], эволюционных вычислений [12, 13], локального поиска [14] и др.

Настоящая работа посвящена разработке алгоритмов решения задачи оптимизации направленного излучения ФАР ВЧ диапазона с использованием градиентного подъёма и эволюционных вычислений. В разделе 1. вводятся основные обозначения, даётся математическая формулировка задачи и описывается её сведение к задаче безусловной оптимизации методом штрафных функций. С учётом специфики рассматриваемой задачи в разделе 2. предложен гибридный алгоритм, основанный на методе дифференциальной эволюции и градиентной оптимизации. Корректировка недопустимых решений осуществляется посредством их масштабирования. Штрафной коэффициент выбирается адаптивно в процессе работы алгоритма. В разделе 3. приводятся результаты вычислительного эксперимента, в котором предложенный алгоритм сравнивается с коммерческим решателем BARON, основанном на многократном применении алгоритма локального поиска и методе ветвей и границ, а также с решателем ANTIGONE и градиентным алгоритмом. Кроме того, исследован эффект от учёта симметрий рассматриваемой задачи. В разделе 4. содержатся заключения.

1. Основные обозначения

Математическая постановка задачи оптимизации направленности ФАР формулируется из физических соображений в виде выпуклого квадратичного функционала при невыпуклых квадратичных ограничениях [6]:

$$\begin{cases} \mathbf{u}^+ \mathbf{A} \mathbf{u} \rightarrow \max, \\ 0 \leq \mathbf{u}^+ \mathbf{B}^{(1)} \mathbf{u} \leq 1, \\ \dots \\ 0 \leq \mathbf{u}^+ \mathbf{B}^{(N)} \mathbf{u} \leq 1. \\ \mathbf{u} \in \mathbb{C}^N \end{cases} \quad (1)$$

Здесь n – количество излучателей в системе. Матрица $\mathbf{A}$ описывает влияние каждого элемента системы на ее излучение вдоль заданного направления. Ограничения, описываемые матрицами $\mathbf{B}_k, k = \overline{1, N}$, накладываются на мощность, которую генератор сигнала способен подать на каждый излучатель. Вектор $\mathbf{u}$ представляет собой вектор-столбец комплексных напряжений.

Для построения алгоритмов анализа и решения данной задачи был предложен переход от постановки в комплексных числах к постановке в вещественных [15]:

$$\begin{cases} \mathbf{x}^T \mathbf{G} \mathbf{x} \rightarrow \max, \\ 0 \leq \mathbf{x}^T \mathbf{H}^{(1)} \mathbf{x} \leq 1, \\ \dots \\ 0 \leq \mathbf{x}^T \mathbf{H}^{(N)} \mathbf{x} \leq 1, \\ \mathbf{x} \in \mathbb{R}^{2n}. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь матрица $\mathbf{G}$ вычисляется по матрице $\mathbf{A}$, а матрицы $\mathbf{H}_k, k = \overline{1, N}$ – по матрицам $\mathbf{B}_k, k = \overline{1, N}$.

Ранее было показано [15], что задача (1) имеет тривиальную симметрию $\mathbf{u} \rightarrow e^{j\phi} \mathbf{u}$, где j – мнимая единица, ϕ – фазовый сдвиг, одинаковый во всех компонентах вектора $\mathbf{u}$. При исследовании структуры локальных оптимумов в указанной работе было отмечено, что, возможно, задача (1) имеет и другие симметрии.

Также, в работе [15] для отыскания локального оптимума использовался многократный запуск градиентного подъёма. Здесь для этих целей предлагается гибридный алгоритм, сочетающий элементы градиентного метода и дифференциальной эволюции.

При этом, задача (2) сводится к задаче безусловной оптимизации методом внешней точки в виде (3)

$$\mathbf{x}^T \mathbf{G} \mathbf{x} - r \cdot \sum_{k=1}^n \left(\min \left(0, \mathbf{x}^T \mathbf{H}^{(k)} \mathbf{x} \right) + \min \left(0, 1 - \mathbf{x}^T \mathbf{H}^{(k)} \mathbf{x} \right) \right)^a \rightarrow \max, \quad (3)$$

где r и a – настраиваемые параметры. Далее в настоящей работе полагаем $a := 2$.

2. Дифференциальная эволюция

2.1. Базовый вариант алгоритма

Эволюционные алгоритмы (ЭА) – один из наиболее широко используемых методов решения многоэкстремальных задач оптимизации, применяемый во многих областях информатики, экономики, инженерии и др. Дифференциальная эволюция (ДЭ) [16] – один из наиболее эффективных ЭА непрерывной оптимизации. В частности, ДЭ была признана стратегией-победителем нескольких конкурсов по оптимизации [17]. Подобно другим эволюционным алгоритмам, ДЭ вдохновлён естественным процессом эволюции и включает в себя применение мутаций, рекомбинации и селекции. Основная особенность ДЭ заключается в том, что в этом алгоритме при построении особей-потомков учитываются разницы между векторами, присутствующими в популяции. В этом смысле он похож на алгоритм Нелдера–Мида [18].

ДЭ – рандомизированный алгоритм, основанный на популяционном поиске, в котором на каждой итерации вычисляется новый набор пробных решений (векторов). В базовом варианте ДЭ для каждого члена популяции (их называют целевыми векторами) создаётся новый мутантный вектор. Затем мутантный вектор комбинируют с целевым вектором для создания пробного вектора. Наконец, применяется фаза селекции для выбора особей следующей популяции. Таким образом, итерации ДЭ продолжаются, пока не будет достигнут критерий остановки. В поколении G i -й вектор популяции обозначается как $\mathbf{X}_{i,G} = [x_{1,i,G}, x_{2,i,G}, \dots, x_{D,i,G}]$. Ниже приведены более подробные сведения о каждой фазе ДЭ.

Эксперименты показывают [19], что в целом эволюция популяции такова, что в случае попадания популяции в некоторый «овраг», популяция ориентируется вдоль этого оврага и математическое ожидание разности двух случайных векторов оказывается направленным вдоль оврага. Это обеспечивает быстрое движение вдоль узких оврагов, тогда как для градиентных методов в аналогичных условиях характерна колебательная динамика «от стенки к стенке». Приведённые эвристические соображения иллюстрируют наиболее важную и привлекательную особенность алгоритма ДЭ – способность динамически адаптироваться к особенностям рельефа оптимизируемой функции. Именно этим объясняется способность алгоритма быстро проходить сложные овраги, обеспечивающая его способность к поиску оптимальных или близких к оптимуму решений.

Инициализация. ДЭ обычно начинает процесс оптимизации со случайно инициализированной популяции, состоящей из D векторов. Поскольку информация о перспективности различных областей пространства решений, как правило, отсутствует, для инициализации ДЭ применяются равномерные генераторы случайных векторов в параллелепипеде с некоторыми границами a_i , b_i по каждой координате j , т. е. j -я компонента i -го вектора инициализируется как $x_{j,i,0} = a_j + rand_{i,j}(b_j - a_j)$, где величина $rand_{i,j}$ выбрана с равномерным распределением между 0 и 1.

Мутация. Для каждого целевого вектора создаётся мутантный вектор. В настоящее время известно несколько вариантов этого оператора. В классическом варианте ДЭ применяется стратегия $rand/1$. В этом случае мутантный вектор $\mathbf{V}_{i,G}$ создаётся следующим образом:

$$\mathbf{V}_{i,G} = \mathbf{X}_{r_1,G} + F \cdot (\mathbf{X}_{r_2,G} - \mathbf{X}_{r_3,G}), \quad r_1 \neq r_2 \neq r_3, \quad (4)$$

где r_1, r_2, r_3 – попарно различные целые числа, случайно выбранные из множества $\{1, \dots, D\} \setminus i$. Разница между векторами масштабируется множителем F , который называется *силой мутации* и обычно определяется в интервале $[0.4, 1]$.

Рекомбинация. Для объединения информации о различных пробных решениях и с целью увеличения разнообразия в популяции применяется оператор кроссинговера (рекомбинации). Каждый целевой вектор $\mathbf{X}_{i,G}$ рекомбинируется с соответствующим ему мутантным вектором $\mathbf{V}_{i,G}$ для создания пробного решения $\mathbf{U}_{i,G} = [u_{1,i,G}, u_{2,i,G}, \dots, u_{D,i,G}]$. Наиболее типичный вариант кроссинговера в ДЭ действует следующим образом:

$$\mathbf{u}_{j,i,G} = \begin{cases} v_{j,i,G}, & \text{если } rand_{i,j} \leq CR \text{ или } j = j_{rand}, \\ x_{j,i,G} & \text{иначе,} \end{cases} \quad (5)$$

где $rand_{i,j}$ – равномерно на $[0, 1]$ распределённое случайное число, j_{rand} – случайно выбранный индекс. При этом гарантируется, что $\mathbf{U}_{i,G}$ наследует хотя бы одну компоненту от $\mathbf{V}_{i,G}$. Параметр $CR \in [0, 1]$ называется *интенсивностью кроссинговера*.

Селекция. Наконец, выполняется отбор для определения следующего поколения. Каждый пробный вектор сравнивается с соответствующим ему целевым вектором, и выживает лучший из них:

$$\mathbf{X}_{i,G+1} = \begin{cases} \mathbf{U}_{i,G}, & \text{если } \tilde{F}(\mathbf{U}_{i,G}) \leq \tilde{F}(\mathbf{X}_{i,G}) \\ \mathbf{X}_{i,G} & \text{иначе.} \end{cases} \quad (6)$$

Таким образом, каждый член популяции либо становится лучше по целевой функции, либо остаётся с тем же значением целевой функции в следующем поколении.

2.2. Гибридный вариант алгоритма дифференциальной эволюции

Будучи применённым к различным примерам из [15], описанный выше базовый вариант алгоритма дифференциальной эволюции зачастую не мог обнаружить даже допустимых решений за все отведённое ему время. Чтобы избежать этой тенденции, в данной работе предложен гибридный вариант ДЭ с использованием градиентного метода, масштабированием решений в допустимую область и адаптацией штрафа, учитывающий специфику решаемой задачи.

Комбинация ДЭ с градиентным подъёмом реализуется следующей процедурой, выполняемой перед переходом к следующему поколению $G + 1$:

Пусть G_0 – номер поколения, когда было последнее улучшение рекорда,
 $Grad(X)$ – результат применения градиентного подъёма с начальным решением X ,
 X_G – лучшая особь популяции на итерации G .

Если $G > D$ и $G > 2G_0$, то положить

$$X' := Grad(X_G).$$

Если $X' = X_G$, то завершить выполнение алгоритма, выдать решение X_G .

Иначе положить

$$X_G := X',$$

$$G_0 := G.$$

Условие $G > 2G_0$ показывает отсутствие улучшения рекордного значения целевой функции за то же число итераций, которое было затрачено на получение этого рекорда. Условие $G > D$ гарантирует, что на начальных итерациях ДЭ не будет принято решение о запуске градиентного алгоритма [20, 21]. Здесь и далее под улучшением рекордного значения понимается увеличение лучшего найденного значения целевой функции в очередном поколении G не менее, чем на ε , где параметр ε тот же, что и в критерии остановки градиентного алгоритма (по минимальному допустимому приращению целевой функции) [15].

Масштабирование решений. Для рассматриваемой задачи существует преобразование, позволяющее привести к допустимой области любое решение $\mathbf{x}$, которое нарушает только неравенства задачи (3) вида $\mathbf{x}^T \mathbf{H}^{(k)} \mathbf{x} \leq 1$:

$$\mathbf{x}' := \alpha(\mathbf{x})^{-1/2} \mathbf{x}, \quad (7)$$

где $\alpha(\mathbf{x}) := \max_{k=1, n} \mathbf{x}^T \mathbf{H}^{(k)} \mathbf{x}$. Поскольку как целевая функция, так и ограничения представлены квадратичными формами, применение такой операции приведёт к пропорциональному уменьшению в $\alpha(\mathbf{x})$ раз значений каждой из квадратичных форм. Другими словами, если в некоторой точке $\mathbf{x}$ значения каждой из квадратичных форм, задающих ограничения, больше 0, причём значения некоторых из них больше 1, то по формуле (7) можно определить множитель, умножение которого на вектор $\mathbf{x}$ ведёт к тому, что наибольшее из значений квадратичных форм, задающих ограничения, будет равно 1. Данная процедура применяется для выбора начального решения, а также для масштабирования каждого нового решения перед оценкой его качества в алгоритме ДЭ и после завершения градиентного подъёма. При этом, если решение до масштабирования имело большие нарушения ограничений, то после масштабирования его целевая функция существенно изменяется (как правило, в сторону снижения качества). На этом принципе основано адаптивное правило подбора штрафного коэффициента r , описываемое далее.

Пусть G – номер текущей итерации,

G_0 – номер итерации, на которой было получено улучшение рекорда,

G_1 – номер итерации, на которой произошло предыдущее увеличение штрафа,

r – текущее значение штрафного коэффициента.

Если $G > D$ и $G > 1.5G_0$ и $G > 2G_1$, то положить

$$r := 2r$$

$$G_1 := G.$$

Таким образом, при отсутствии существенных улучшений качества решений на протяжении $G_0/2$ итераций, ещё до вызова градиентного алгоритма и до окончания работы ДЭ делается попытка улучшить найденный результат за счёт увеличения штрафа. Условие $G > D$ гарантирует, что на начальных итерациях не будет принято решение об увеличении штрафа. Условие $G > 2G_1$ вводится для того, чтобы штрафной коэффициент не увеличивался слишком часто. С

учётом масштабирования особей в допустимую область, описанный механизм увеличения штрафа, как правило, приводит к выживанию особей с меньшим нарушением ограничений и позволяет улучшить качество получаемых решений.

3. Вычислительный эксперимент

Вычислительный эксперимент был поставлен для задач, рассмотренных в [15, 22]. В данной статье ШВИК, ШВДК, СВДК обозначают решётки кольцевой структуры. Далее следует указание количества элементов (8 или 16). Через тире – расстояние (метры) от центра излучателя до центра решётки (15, 20, 25, 30, 37). Для ШВД приводится плотность противовесов (например, 3:3). Поскольку современные ЭВМ на аппаратном уровне поддерживают вычисление в параллельном режиме, рассматриваемый здесь алгоритм ДЭ был адаптирован под эту особенность: за один запуск алгоритма производится 4 параллельных выполнения, а на выход подаётся лучшее решение. Это позволяет использовать возможности современных ЭВМ для получения более качественных решений. В таблице 1 результаты, полученные с помощью градиентного подъёма из [15] и гибридного алгоритма дифференциальной эволюции (ДЭ), сравниваются с результатами коммерческого решателя BARON версии 18.11.12 из пакета GAMS. Все сравниваемые алгоритмы имеют ограничение по времени счета 1000 с (эта длительность выбрана из практических соображений, т. к. она сопоставима с временем построения исходных данных с использованием системы NEC, и совпадает с ограничением по времени, выбранным в [15]). В случае нескольких запусков ДЭ за отведённое время, за окончательное решение принимается лучшее из найденных за 1000 с. Для оценки среднего значения целевой функции на выходе ДЭ производилась серия из 10 независимых испытаний по 1000 с в каждом. Эксперимент с гибридным алгоритмом ДЭ проводился при выборе типичных значений настраиваемых параметров (популяция из 100 особей, $F = 0.6$, $CR = 0.6$). Значения целевой функции в таблице округлены до целых. Полужирным шрифтом выделены случаи, когда указанное значение целевой функции не менее, чем на 1% выше, чем у других алгоритмов. Вычисления производились на ЭВМ с процессором Intel i7 (тактовая частота: 2.8 ГГц), ОЗУ: 16 Гб.

Аналогичные испытания производились и с помощью решателя ANTIGONE версии 39.1.0 в пакете GAMS, однако, было выявлено, что в режиме по умолчанию данный решатель на всех задачах выдал нулевое решение, кроме СВД 2x2, где решение по целевой функции совпадало с результатом BARON. Также, в результате проведённых экспериментов было обнаружено, что динамическая адаптация штрафного коэффициента позволяет ДЭ достичь более качественных решений, что особенно заметно в тех случаях, когда результаты ДЭ и BARON близки по качеству.

С целью изучения возможности ускорения работы решателей за счёт учёта специфики задачи были проведены дополнительные исследования структуры рассматриваемых примеров с точки зрения линейных симметрий этих задач [23]. Ранее было отмечено (см. [15]), что решения рассматриваемой задачи

Таблица 1. Результаты градиентного подъема, гибридного алгоритма ДЭ и BARON

Тип	град. подъем	ДЭ	BARON	
	$\tilde{F}$	$\tilde{F}$	$\tilde{F}$	t, с
ШВИ 2x2	138	139	139	0.12
ШВИ 3x3	576	580	580	0.34
ШВД 2x2	460	463	463	0.27
ШВД 3x3	915	924	925	0.34
СВД 2x2	357	361	361	0.16
СВД 3x3	1138	1163	1261	0.38
СВД 5x5	5318	7132	6716	1000
СВД' 2x2	233	198	253	0.25
СВД' 3x3	664	834	1153	1.4
СВД' 5x5	1382	2755	33	217.94
ШВИК 8-15(3:3)	217	218	218	0.23
ШВИК 16-15(3:7)	727	732	734	1.37
ШВИК 8-15(2:3)	1536	1664	-	14.62
ШВДК 8-20	1454	1454	1455	2.78
ШВДК 8-30	2422	2422	2422	1.47
СВДК 8-25	740	740	740	0.23
СВДК 8-37	1487	1487	1487	0.23

эквивалентны с точностью до сдвига фаз во всех излучателях на равную величину. Учёт данной симметрии (для краткости называемой «фазовой симметрией») может быть реализован фиксацией в ноль одной из переменных задачи, например, $x_1 = 0$. В результате добавления такого ограничения к условиям задачи число переменных сокращается на единицу и можно предположить, что это сократит время вычислений для известных алгоритмов. Нами поставлены вопросы о том, действительно ли происходит сокращение времени вычислений и о существовании других семейств симметрий, которые могли бы ещё более сократить пространство поиска решаемой задачи.

Для ответа на первый вопрос на всех тестовых примерах был найден коэффициент ускорения решателя BARON, получаемый от фиксации $x_1 = 0$. Результаты представлены на рисунке 1 (здесь отсутствует задача СВД' 5x5, где алгоритм с фиксацией затратил существенно большее время, но при этом нашёл решение с большим на 10% значением целевой функции, а также задача ШВИК 8-15(2:3), в которой решения не были найдены в обоих случаях). большинстве примеров фиксация переменной привела к ускорению работы алгоритма, среднее ускорение по представленным здесь задачам составило 0.95,

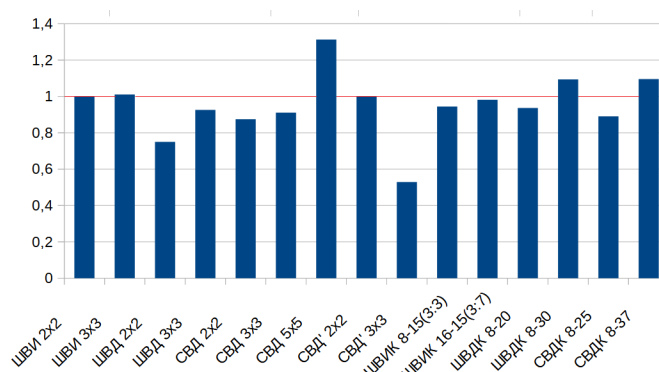


Рис. 1. Отношение длительности вычислений с фиксацией первой координаты к исходной длительности вычислений

что говорит о целесообразности фиксации в ноль одной из переменных при использовании решателя. Аналогичный эксперимент с алгоритмом ДЭ и решателем ANTIGONE не показал существенного улучшения качества решений или их ускорения в результате фиксации x_1 .

Для ответа на второй вопрос был проведён поиск непрерывной группы линейных симметрий в рассматриваемых примерах, как описано в [23]. В результате было установлено, что других непрерывных семейств линейных симметрий в рассматриваемых примерах не существует. Вопрос о поиске дискретных симметрий остаётся открытым.

Из проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

- 1) разработанный в рамках данной работы гибридный вариант ДЭ показывает конкурентоспособные результаты по сравнению с коммерческим решателем BARON в режиме его настроек по умолчанию, при этом преимущество ДЭ наблюдается на задачах с наибольшей размерностью (50 и 16 переменных);
- 2) решатель ANTIGONE в режиме его настроек по умолчанию в большинстве тестовых примеров давал нулевое решение;
- 3) учёт фазовых симметрий задачи (1) в большинстве случаев позволяет ускорить работу решателя BARON.

4. Заключение

В рамках данной работы был разработан гибридный вариант алгоритма дифференциальной эволюции с использованием градиентного алгоритма и адаптацией штрафа. Показано, что разработанный вариант ДЭ демонстрирует конкурентоспособные результаты, в особенности на задачах большой размерности. Произведено сравнение гибридного алгоритма и коммерческих решателей с учётом фазовой симметрии, имеющейся в рассматриваемой задаче, и без неё. В ходе эксперимента, учёт симметрии в большинстве случаев приводил к ускорению работы решателя BARON.

Благодарности

Авторы благодарны А.С. Юркову за постановку задачи и полезные замечания. Работа выполнена в рамках государственного задания ИМ СО РАН (проект FWNF-2022-0020).

ЛИТЕРАТУРА

1. Indenbom M., Izhutkin V., Sharapov A., Zonov A. Synthesis of conical phased antenna arrays optimization of amplitude distribution parameters // IX International Conference on Optimization and Applications (OPTIMA 2018). 2018. P. 273–285.
2. Щелкунов С.А., Фрис Г. Антенны: Теория и практика. Советское радио, Москва, 1955.
3. Фаняев И.А., Кудин В.П. Синтез амплитудного распределения на входах излучателей фазированной антенной решётки над цилиндрической поверхностью методом роя частиц // Доклады БГУИР. 2017. С. 89–96.
4. Фаняев И.А., Кудин В.П. Фазированная антенная решётка кругового обзора над проводящей цилиндрической поверхностью из излучателей вертикальной поляризации // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. Сер.: Естественные науки. 2014. С. 191–198.
5. Юрков А.С. Максимизация направленности фазированных антенных решёток коротковолнового диапазона // Научно-технический сборник «Техника радиосвязи». Омск : ОНИИП, 2016. № 2, С. 46–53.
6. Юрков А.С. Оптимизация возбуждения передающих фазированных антенных решёток декаметрового диапазона длин волн. Омск : ОНИИП, 2014.
7. Fuchs B. Application of convex relaxation to array synthesis problems // IEEE Transactions on Antennas and Propagation 62(2). 2014. P. 634–640.
8. Murty K. Some NP-complete problems in quadratic and nonlinear programming // Mathematical Programming. North Holland 39. 1987. P. 117–129.
9. Нечаева М.С., Хамисов О.В. Метод ветвей и границ для задачи минимизации невыпуклой квадратичной функции при выпуклых квадратичных ограничениях // Дискретн. анализ и исслед. опер. 2000. № 7(2). С. 74–88.
10. Horst R., Pardalos P.M. Handbook of global optimization. Springer Science & Business Media, 2013. V. 2.
11. Стрекаловский А.С. О минимизации разности выпуклых функций на допустимом множестве // Журн. вычисл. матем. и матем. физ. Т. 43, № 3. 2003. С. 399–409.
12. Boriskin A.V., Balaban M.V., Galan O.Yu., Sauleau R. Efficient approach for fast synthesis of phased arrays with the aid of a hybrid genetic algorithm and a smart feed representation // IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology. 2010. P. 827–832.
13. Rao A., Sarma N. Synthesis of reconfigurable antenna array using differential evolution algorithm // IETE Journal of Research 63(3). 2017. P. 827–832.
14. Кочетов Ю.А. Вычислительные возможности локального поиска в комбинаторной оптимизации // Журн. вычисл. матем. и матем. физ. Т. 48, № 5. 2008. С. 747–763.
15. Тюнин Н.Н. Задачи невыпуклого квадратичного программирования, связанные с оптимизацией фазированных антенных решёток // Дискретный анализ и исследование операций. Т. 28, № 3. 2021. С. 65–89.

16. Storn R., Price K. Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces // *Journal of Global Optimization*. 1997. V. 11(4). P. 341–359.
17. Das S., Suganthan P.N. Differential evolution: A survey of the state-of-the-art // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 15(1). 2011. P. 4–31.
18. Nelder J.A., Mead R. A simplex method for function minimization // *The Computer Journal*. 1965. V. 7(4). P. 308–311.
19. Price K. V., Storn R. M., Lampinen J. A. *Differential Evolution. A Practical Approach to Global Optimization*. Springer, 2005.
20. Balas E., Niehaus W. Optimized crossover-based genetic algorithms for the maximum cardinality and maximum weight clique problems // *Journal of Heuristics*. 1998. V. 4(2). P. 107–122.
21. Hampson S., Kibler D. Plateaus and plateau search in Boolean satisfiability problems: When to give up searching and start again // *Proceedings of the second DIMACS Implementation Challenge “Cliques, Coloring and Satisfiability”*. American Mathematical Society. 1996. P. 437–456.
22. Тюнин Н.Н. Об оптимизации направленности коротковолновых фазированных антенных решеток кольцевой структуры // Научно-технический сборник «Техника радиосвязи». Омск : ОННП, 2022 (в печати).
23. Ereemeev A.V., Yurkov A.S. On symmetry groups of some quadratic programming problems // *Proceedings of Mathematical Optimization Theory and Operations Research. MOTOR 2020* (Novosibirsk, Russia, July 6–10, 2020). Springer, LNCS 12095. 2020. P. 35–48.

DIFFERENTIAL EVOLUTION FOR DIRECTIVITY OPTIMIZATION OF SHORT-WAVE PHASED ANTENNA ARRAYS

A.V. Ereemeev

Dr. Sci. (Phys.-Math.), e-mail: eremeev@ofim.oscsbras.ru

N.N. Tyunin

p.g., e-mail: n.n.tyunin@gmail.com

Sobolev Institute of Mathematics
SB RAS, Omsk department, Omsk, Russia

Abstract. The problem of optimization of the directivity of phased antenna arrays for shortwave radio communication is formulated as a nonconvex quadratic programming problem. Taking into account the specifics of the problem under consideration, a hybrid algorithm based on the method of differential evolution, the method of penalty functions and gradient optimization is proposed. Correction of invalid solutions is carried out by means of their scaling. The penalty coefficient is chosen adaptively during the algorithm execution. A computational experiment was carried out, where the proposed algorithm is compared with the commercial solver BARON, based on repeated application of the local search algorithm and branch and bound method, as well as with the ANTIGONE solver and the gradient algorithm. In addition, the effect of accounting for symmetries of the considered problem is studied. According

to the results experiment, we can conclude that the proposed hybrid algorithm is competitive, especially on problems of higher dimension.

Keywords: Optimization problem, phased antenna array, quadratic programming, shortwave, differential evolution.

Дата поступления в редакцию: 06.06.2022

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА К ПОСТРОЕНИЮ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ТЕПЛИЧНОЙ СИСТЕМЫ

Т.В. Костеннов

аспирант, e-mail: timofey.kostennov@gmail.com

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия

Аннотация. В рамках данной статьи рассматриваются информационные и функциональные возможности применения системного анализа к описанию теплицы как системы, проводится процесс декомпозиции. Особое внимание уделяется выделению ключевых свойств системы применительно к теплице. На основе изученного материала строится структурно-функциональная схема теплицы как системы.

Ключевые слова: теплица, системный анализ, декомпозиция, свойства системы.

Введение

Продовольственная безопасность является одной из актуальных проблем государства, большие усилия агропромышленного комплекса направлены на её обеспечение [1]. В рамках решения данной проблемы большую значимость получают методы выращивания агрокультур в регионах с холодным климатом. Подобные методы, кроме очевидных результатов в виде повышения совокупного урожая, позволяют, например, уменьшить затраты на транспортировку продукции, что в свою очередь делает её более доступной для потребителя. Одним из таких методов является метод выращивания растений в закрытых грунтах, широко применяемый тепличными хозяйствами по всему миру. Применение теплиц в промышленности позволяет максимально использовать биологический потенциал растений благодаря возможности управления многими факторами роста. Доля теплиц в сельском хозяйстве растёт, и, по прогнозам специалистов, данная тенденция будет сохраняться в ближайшие годы [2].

Общий курс на автоматизацию и уменьшение участия человека в базовых операциях находит всё больше поддержки. Одним из применений автоматизации в области тепличных хозяйств являются управляемые алгоритмами теплицы. Применение алгоритмов, основанных не только на текущем состоянии управляемого объекта, но и на данных о его функционировании в прошлом, затрудняется как сложностью подобных алгоритмов, так и требуемыми вычислительными мощностями.

В большинстве исследований, посвящённых теплицам и тепличным хозяйствам, большое внимание обращается на проектирование отдельных реализаций, прикладной же системный анализ и унификация моделей применяется реже [3].

В рамках данной статьи рассматривается процесс декомпозиции теплицы в применении системного анализа и выявления у рассматриваемого объекта основных свойств системы. Результатами данных действий станут структурная и функциональная схемы теплицы как системы, на основе которых будет возможно дальнейшее моделирование многоуровневых компонентных цепей подсистем с целью вывода и проверки работоспособности алгоритма управления.

Согласно структуре системного анализа, необходимо провести декомпозицию существующей системы, выбрать наиболее подходящий вариант декомпозиции, выделить статические, динамические, синтетические, свойства системы, получить различные представления исследуемой системы.

1. Декомпозиция существующей системы

Рассмотрим теплицу, состоящую из следующих компонентов.

- Устройства управления:
 - Основное устройство управления, отвечающее за анализ данных и выработку управляющих сигналов;
 - Устройство конвертер показаний датчиков, отвечающее за конвертацию показаний датчиков из различных низкоуровневых протоколов в единый протокол высокого уровня;
 - Устройство конвертер управляющих сигналов, отвечающее за конвертацию сигнала, выработанного основным устройством управления, в сигналы низкого уровня для переключения устройств регуляции среды.
- Датчики:
 - расположенные в ёмкости для полива:
 - датчик уровня воды;
 - датчик температуры воды.
 - расположенные внутри теплицы:
 - датчик освещённости;
 - датчик температуры воздуха;
 - датчик влажности воздуха;
 - датчик уровня CO₂.
 - расположенные в субстрате:
 - датчик температуры субстрата;
 - датчик влажности субстрата.
 - расположенные во внешней среде:
 - датчик температуры воздуха;
 - датчик влажности воздуха;
 - датчик освещённости.
- Устройства регуляции среды:

- насос для заполнения водой ёмкости для полива;
- нагреватель воды в ёмкости для полива;
- насос для подачи воды в субстрат;
- баллон с CO₂;
- устройство вентиляции;
- устройство освещения;
- нагреватель воздуха.
- Также следует выделить как отдельные объекты
 - весь внутренний объем теплицы, в котором находится субстрат;
 - выращиваемое растение;
 - интерфейс для взаимодействия с пользователем.

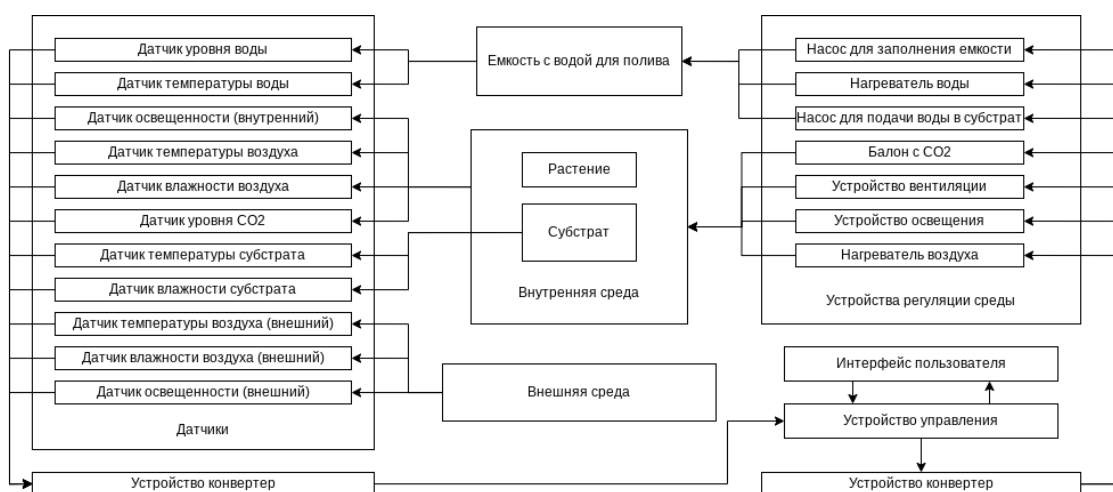


Рис. 1. Схема информационных связей компонентов теплицы

Даже без применения методов системного анализа можно заметить некоторую связь между компонентами. Сгруппировав компоненты по их назначению и информационным связям между ними, получим схему (см. рис. 1)

Данная схема, хотя и не является достоверно описывающей систему с точки зрения системного анализа, может быть использована в качестве опоры для выведения общих структурной и функциональной схем и в ходе следующих исследований подобных схем для подсистем [4]. Стоит отдельно отметить, что в данной статье будут рассматриваться только информационные потоки внутри системы для облегчения моделирования и исследования.

В процессе декомпозиции следует выделить цель и основную функцию системы. Для рассматриваемого объекта основной функцией является анализ данных о состоянии внутренней среды и их коррекция с помощью устройств регуляции среды, а основной целью — поддержание состояния внутренней управляемой среды.

Также в процессе декомпозиции необходимо чётко выделить исследуемую систему из внешней среды. Теплица по своему принципиальному устройству без труда выделяется из внешней среды, поскольку подразумевается, что внутренняя среда отделена от внешней.

На третьем шаге необходимо определить воздействующие на рассматриваемый объект внешние факторы. Исходя из схемы связей, основными внешними факторами, влияющими на работу устройства управления, являются данные, вводимые пользователем, и данные о состоянии внешней среды, такие как температура и влажность воздуха, уровень освещённости.

Далее следует выделить тенденции развития и различные неопределённости. Для рассматриваемого объекта цель и функции определены строго, структура не подвержена изменениям. Неопределённостями можно считать внешние факторы среды, т. к. прогнозирование изменений внешней среды не поддаётся вычислению в приемлемое время устройствами управления теплицы.

Следующим шагом необходимо представить систему с точки зрения «чёрного ящика»¹. На этом шаге мы неизбежно сталкиваемся с проблемой выделения входных и выходных параметров. Входные параметры системы можно определить исходя из задач и информационных потоков. Поскольку система должна поддерживать характеристики среды в каких-то заранее заданных рамках, одним из входов можно считать эти заданные условия. Другим входом могут послужить данные о состоянии внешней среды. Выходами системы могут быть данные о состоянии внутренней среды после работы всей системы.

Последним шагом является определение различных вариантов декомпозиции.

Функциональная декомпозиция основывается на анализе функций системы. Используя данную стратегию в существующей системе, можно выделить следующие подсистемы:

- «Система Пользовательского Интерфейса» — отвечает за предоставление пользователю актуальных данных о состоянии системы, передачу введённых пользователем данных «Системе Управления»;
- «Система Управления» — отвечает за выработку управляющих сигналов для «Системы Регуляции Среды», получение данных от «Системы Сбора Данных», предоставление данных для «Системы Пользовательского Интерфейса»;
- «Система Регуляции Среды» — отвечает за переключение средств регуляции среды в соответствии с управляющим сигналом от «Системы Управления»;
- «Система Сбора Данных» — отвечает за опрос датчиков с использованием различных протоколов связи низкого уровня, преобразования полученных данных и их отправку «Системе Управления» с использованием протоколов связи высокого уровня.

Основываясь на выделенных подсистемах и списке используемых компонентов, можно составить функциональную схему рассматриваемой системы (см. рис. 2).

Видны границы между подсистемами и связи между ними, каждая подсистема выполняет строго определённый набор операций.

¹ Термин, используемый для обозначения системы, внутреннее устройство и механизм работы которой очень сложны, неизвестны или неважны в рамках данной задачи.

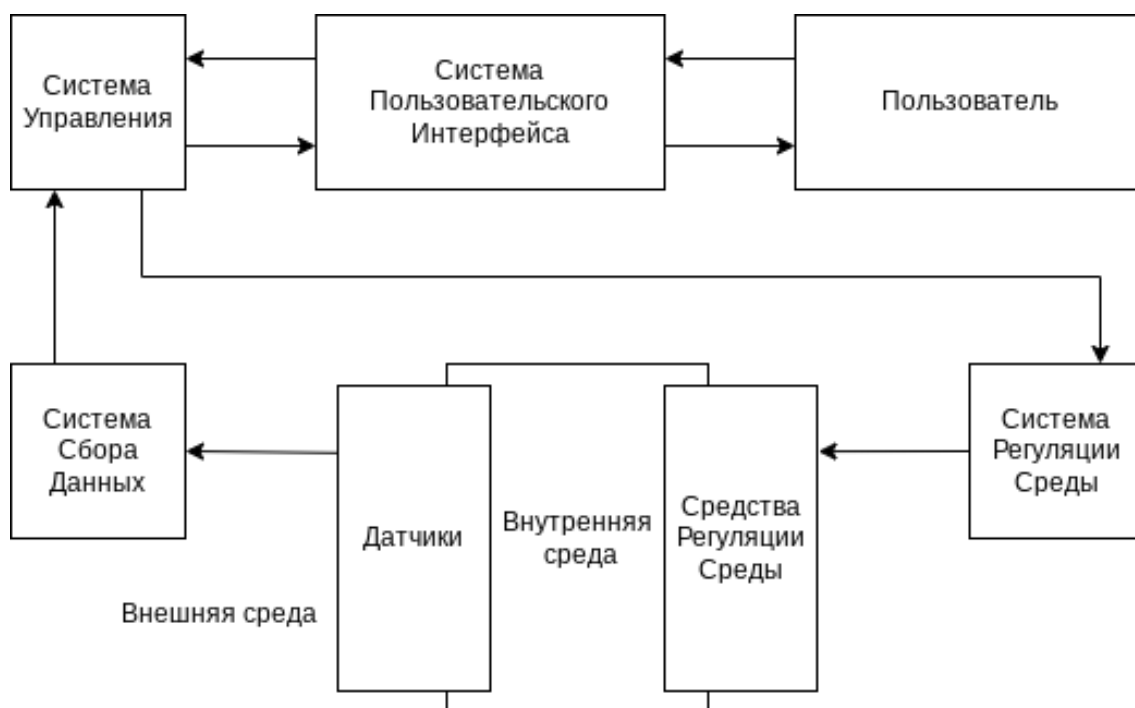


Рис. 2. Функциональная схема рассматриваемой системы

Компонентная декомпозиция, соответственно своему названию, основывается на выделении подсистем через общий вид элементов. Основываясь на данном виде декомпозиции, можно выделить следующие подсистемы:

- «Система Устройств Сбора Данных», содержащая в себе все возможные датчики, существующие в системе;
- «Система Устройств Регуляции Системы», содержащая в себе все возможные устройства регуляции системы, существующие в системе;
- «Система Устройств Управления», содержащая в себе все вычислительные устройства системы;
- «Система Алгоритмов», содержащая в себе все алгоритмы системы, отвечающие за передачу, анализ, получение данных и переключение устройств.

Хотя границы между подсистемами определены гораздо более точно, использование декомпозиции данного вида в дальнейшем моделировании затруднительно. Однако возможно использование на стадии анализа рисков.

Декомпозиция по жизненному циклу подразумевает основным признаком выделения подсистем изменение закона функционирования подсистем на разных этапах цикла существования системы. По своему проекту тепличная система не предусматривает изменений функционирования основного цикла, потому использование данного вида декомпозиции не представляется полезным.

Структурная декомпозиция использует в качестве основного признака сильную связь по одному из типов связей (информационных, логических, энергетических) между подсистемами. Основным типом связи в рассматриваемой си-

стеме является информационный. Для начала выделим основную подсистему, имеющую больше связей, чем другие — это «Система Управления», которая отвечает за выработку управляющих сигналов для средств регуляции среды, получение данных от датчиков, предоставление данных для пользовательского интерфейса. За получение данных от датчиков, преобразование их в единое сообщение протокола высокого уровня и отправку их системе управления отвечает «Система Сбора Данных». Средствами регуляции среды управляет «Система Регуляции Среды». Основной задачей для данной подсистемы является преобразование сигнала управления от системы управления в переключение средств регуляции среды. «Система Пользовательского Интерфейса» отвечает за взаимодействия с пользователем: получение данных о граничных значениях управляемой среды и отображение текущего состояния.

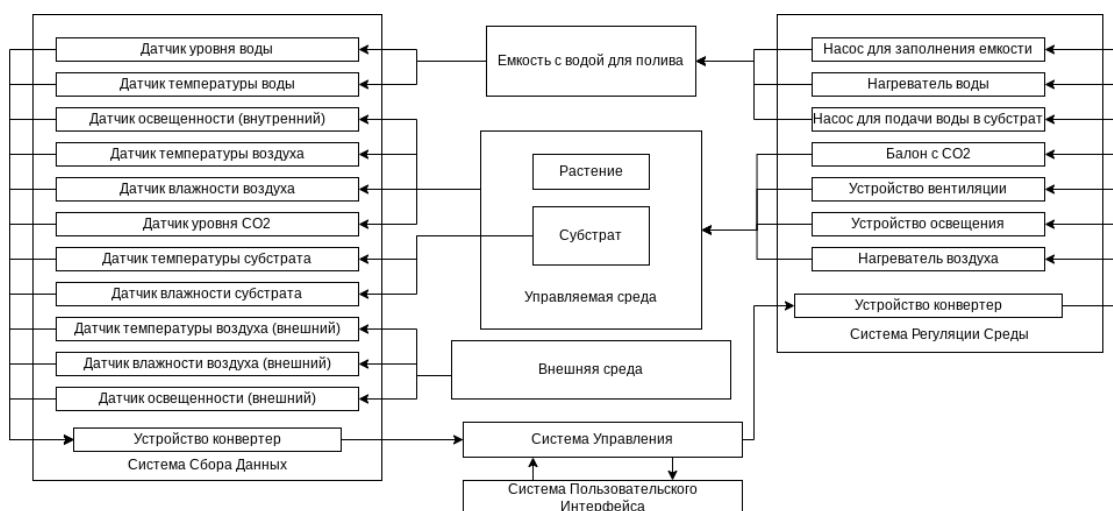


Рис. 3. Структурно-функциональная схема рассматриваемой системы

Поскольку наиболее полно компоненты и связи между ними описывает функциональная и структурная декомпозиция, в дальнейшем следует использовать их совмещение.

В результате проведения декомпозиции по различным признакам можно выделить в рассматриваемой системе подсистемы и составить структурно-функциональную схему, совмещающую отображение взаимосвязей подсистем и их компонентов (см. рис. 3). Создание подобной схемы облегчит процедуру моделирования в дальнейших исследованиях, а также является обязательным условием для этапа анализа.

2. Выделение существующих свойств системы

Системный анализ используется во многих областях знаний, его можно применять к различным существующим и теоретическим системам. Однако любая система обладает свойствами, используемыми для описательного определения

системы [5]. Для рассматриваемой системы можно выделить их следующим образом.

1. Статические свойства, которыми система обладает в любой фиксированный момент времени:
 - свойство целостности, по которому можно отделить систему от окружающей среды. Исходя из определения слова «теплица» и рассмотренного ранее строения системы, существует возможность в любой период времени выделить рассматриваемую систему из среды;
 - свойство открытости, говорящее о том, что система, выделяясь из среды, всё же не изолируется от неё и продолжает обмениваться ресурсами. Поскольку теплица использует ресурсы внешней среды, такие как тепловая энергия солнца и атмосферный воздух, нельзя сказать о её полной изоляции от внешней среды. Данные о состоянии внешней среды также являются одним из входов системы;
 - свойство внутренней неоднородности, говорящее о возможности выделения внутри системы различных частей системы, проведению границ между этими частями. Исходя из результатов декомпозиции, можно сказать о существовании различных подсистем внутри всей рассматриваемой системы;
 - свойство структурированности, говорящее о том, что части системы не независимы, не изолированы друг от друга, а имеют связи. Наличие связей между частями системы говорит о наличии у всей системы структуры, а следовательно, наличие таких связей говорит о наличии свойства структурированности. Подсистемы теплицы, рассмотренные в предыдущем разделе, имеют различные связи друг с другом, следовательно, рассматриваемая система обладает свойством структурированности.
2. Динамические свойства — свойства, изменяющиеся со временем внутри системы и вне её. О любых изменениях можно говорить в терминах изменений в статических моделях системы:
 - свойство функциональности, говорящее о применимости выходов системы для использования в достижении основных целей. Поскольку основная цель всей теплицы — это поддержание заданных параметров характеристик в управляемой среде, а выходами системы на каждой итерации цикла управления можно считать состояние среды, выходы системы применимы для достижения цели;
 - свойство стимулируемости, говорящее о подверженности системы воздействиям извне. Так как воздействиями извне для системы можно считать только входы самой системы, можно говорить, что данное свойство характеризует изменчивость системы в зависимости от входных сигналов. Для рассматриваемой системы входами являются режим управления и данные о внешней среде. Основной целью системы является поддержание заданных пользователем характеристик в управляемой среде вне зависимости от внешних условий. Следова-

тельно, и внутреннее поведение системы меняется в зависимости от входных условий;

- свойство изменчивости со временем, говорящее о способности системы к изменениям различного рода, как положительным, таким как развитие, рост, так и отрицательным, таким как спад и деградация. Поскольку рассматриваемая система по своему определению и составу не способна к качественному и количественному росту и развитию, следует рассматривать только возможные отрицательные изменения. Такие изменения могут выражаться в деградации отдельных компонентов системы, например, датчиков, под воздействием агрессивных условий среды;
- свойство существования в изменяющейся среде, говорящее о возможности системы подстраиваться к изменяющимся внешним условиям и сохранять своё функционирование. Для рассматриваемой системы о наличии данного свойства может говорить реакция на один из входов управления, а именно на данные о внешней среде. С изменением параметров внешней среды система предпринимает определённые шаги для поддержания неизменного режима функционирования внутренней среды.

3. Синтетические свойства системы, являющиеся собирательными, учитывающими предыдущие свойства, но делающими упор на взаимодействие системы со средой, на целостность системы в общем понимании:

- свойство эмерджентности, выражающее возможность возникновения новых свойств и функций у всей системы, отсутствующих у отдельных её частей. В рамках исследуемой системы рассмотрим следующий пример. «Система Управления» сама по себе способна на выработку сигналов управления, Система Сбора Данных способна на получение данных с датчиков, а Система Регуляции Среды способна на переключение устройств регуляции среды, однако по отдельности эти системы не могут осуществлять управление средой. Таким образом, и это свойство присуще рассматриваемой системе;
- свойство неразделимости, являющееся следствием предыдущего, говорящее о невозможности отделения части системы без последствий для системы. При извлечении части из системы свойства самой части могут изменяться и частично сохраняться, однако система перестанет существовать, её место займёт новая, полученная в результате операции извлечения. Также свойство неразделимости говорит о том, что изъятая из системы часть и часть, функционирующая в системе, — это не одно и то же. При извлечении из системы теплицы любой из подсистем неизбежно изменяет структуру системы;
- свойство ингерентности или согласованности с окружающей средой, говорящее о том, что система согласована и приспособлена к окружающей среде, совместима с ней. Для рассматриваемой системы стоит отметить, что поскольку при любом функционировании системы

внешняя среда не может считать теплицу неингерентной и каким-либо образом отторгать её, и сама система для своего функционирования использует информацию, энергию и вещество извне, то можно считать систему ингерентной;

- свойство целесообразности, говорящее о подчинённости и состава, и структуры системы поставленной цели. Для искусственных систем данное свойство можно считать фундаментальным. В рассматриваемой системе основной целью является поддержание параметров внутренней среды, все части системы существуют для достижения данной цели, следовательно, систему можно считать целесообразной.

В результате выделения основных свойств системы и проверки их наличия у рассматриваемого объекта можно прийти к выводу, что объект может считаться системой, декомпозиция объекта на подсистемы проведена корректно, полученный результат можно использовать в дальнейшем для стадий анализа и создания моделей для дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бекбергенева Д.Е., Баранник В.А. Продовольственная безопасность Российской Федерации // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 4-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prodovolstvennaya-bezopasnost-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 10.07.2022).
2. Анализ российского рынка тепличных хозяйств: итоги 2019 г., прогноз до 2023 г. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/12105/> (дата обращения: 10.07.2022).
3. Корнев С.М., Басуматорова Е.А. Механизация и автоматизация процессов в растениеводстве // Известия ОГАУ. 2022. № 1(93). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mehanizatsiya-i-avtomatizatsiya-protsessov-v-rastenievodstve> (дата обращения: 12.07.2022).
4. Родионов И.Б. Теория систем и системный анализ. Казань : Изд-во КГТУ / КГТИ, 2006.
5. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ (Наука и искусство решения проблем). Томск : Изд-во Томского ун-та, 2004.

APPLICATION OF METHODS OF SYSTEM ANALYSIS TO THE CONSTRUCTION OF A STRUCTURAL AND FUNCTIONAL SCHEME OF A GREENHOUSE SYSTEM

T.V. Kostenov

Ph.D. Student, e-mail: timofey.kostenov@gmail.com

Dostoevsky Omsk State University, Omsk, Russia

Abstract. The article consider the informationality and functionality of applying system analysis to the description of a greenhouse as a system, and the process of decomposition is carried out. Particular attention is paid to highlighting the key properties of the system in relation to the greenhouse. On the basis of the studied material, a structural and functional diagram of the greenhouse as a system is built.

Keywords: greenhouse, system analysis, decomposition, system properties.

Дата поступления в редакцию: 17.08.2022

ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ (ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ) ПРОТИВОБОРСТВУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В КОНФЛИКТНОЙ СИТУАЦИИ

О.А. Терентьева

старший преподаватель, e-mail: anatole4ka@yandex.ru

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия

Аннотация. В статье представлен анализ разработанных авторами программных продуктов для компьютерных экспериментов, проводимых с конфликтующими техническими системами. Программные продукты могут быть использованы для решения широкого круга задач противоборства не только технических систем, но и систем иной физической природы, например в исследованиях в области охраны лесов от пожаров.

Ключевые слова: программное обеспечение, конфликтная ситуация, пожары, моделирование.

В настоящее время авторами изучается вопрос разработки алгоритмов, которые будут вычислять поиск точных и приближенных решений исследуемых задач, подробно рассмотренных в [3,4] и создания объединённого программного комплекса на основе одного «ядра». Если будет использован метод приближенного вычисления задачи, то будут учтены ограничение на максимально допустимое отклонение от оптимального результата. Изучается ситуация выбора оптимальной стратегии в конфликтной ситуации. В большинстве случаев, когда стоит выбор одного варианта действия из многих возникают ситуации, в которых участвуют несколько противоборствующих сторон, например противопожарные мероприятия и пожар. Такие ситуации называются конфликтом. В конфликтной ситуации оппоненту необходимо учитывать не только свои собственные интересы, но и цели и интересы противника, которые в общем случае неизвестны. Следовательно, образуются сложные условия выбора оптимального положения для каждого из участников конфликтной ситуации.

Чтобы проверить работоспособность алгоритмов численного решения задач, рассмотренных в [1], были проведены экспериментальные вычисления, а именно разработаны программные обеспечения для проведения всех вычислительных процедур.

Разработанные программы реализованы на платформе Microsoft.NETFramework 4.0. Программный код написан на языке C#.

1. Программа для решения задачи противоборства двух избыточных, восстанавливаемых после отказов технических систем

Программное обеспечение используется для разработки на компьютере решения поставленной задачи, которая рассматривается как дифференциальная игра с участием двух конфликтующих систем.

В качестве систем, участвующих в конфликте, примем идентичные по структуре избыточные технические системы, которые состоят из основных и резервных элементов, и будут использованы вместо отказавших основных, с целью восстановления функциональных возможностей соответствующей противоборствующей системы. Задача каждой из сторон представляет собой ослабление конфликтующей системы, при помощи уменьшения вероятности ее безотказной работы, с использованием воздействия (атаками) на её компоненты, за счёт увеличения интенсивности их отказов в процессе игры. А также подборка оптимальной стратегии поведения в процессе конфликта и максимизации соответствующей функции выигрыша за счёт оптимального использования резервных компонентов.

Внешний вид программы состоит из вложенных выпадающих подменю. При запуске главного меню (рис. 1) пользователь видит все функции модулей программы, что обеспечивает быстрый вызов любых необходимых действий. Интерфейс программы составлен максимально удобным и понятным для пользователя, которых хотя бы частично знаком с работой в операционной системе Windows.

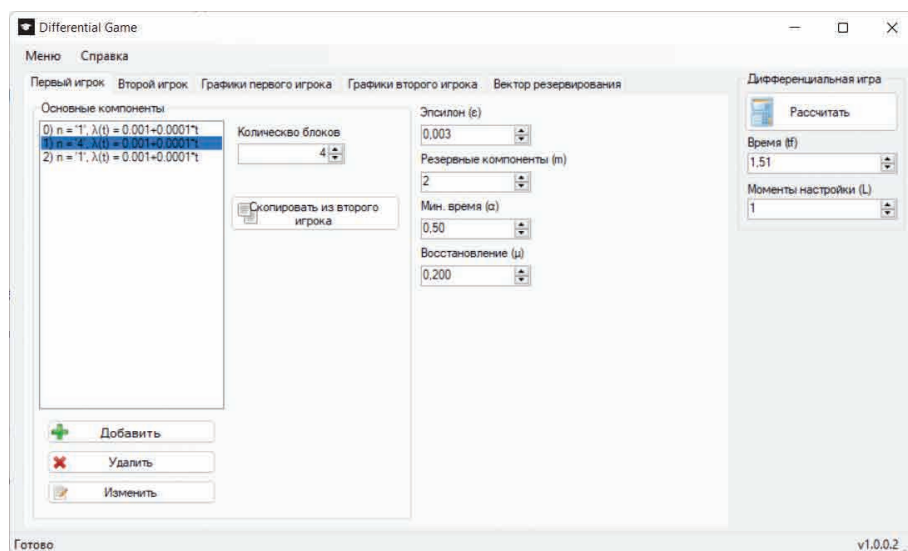


Рис. 1. Интерфейс программы

Входные параметры первого игрока аналогичны параметрам второго игрока и состоят из следующих компонентов: количество основных компонентов, эпсилон – параметр, который отвечает за точность вычисления(ϵ); минимальное

время (a); резервные компоненты (m); интенсивность восстановления (μ); окно для вывода заданных параметров игрока, со вспомогательной информации об объекте.

Вкладки графики первого и второго игроков представляют собой иллюстрационно-графический способ вычислений технической системы: график интенсивности отказов первого игрока, график вероятности безотказной работы (рис. 2).

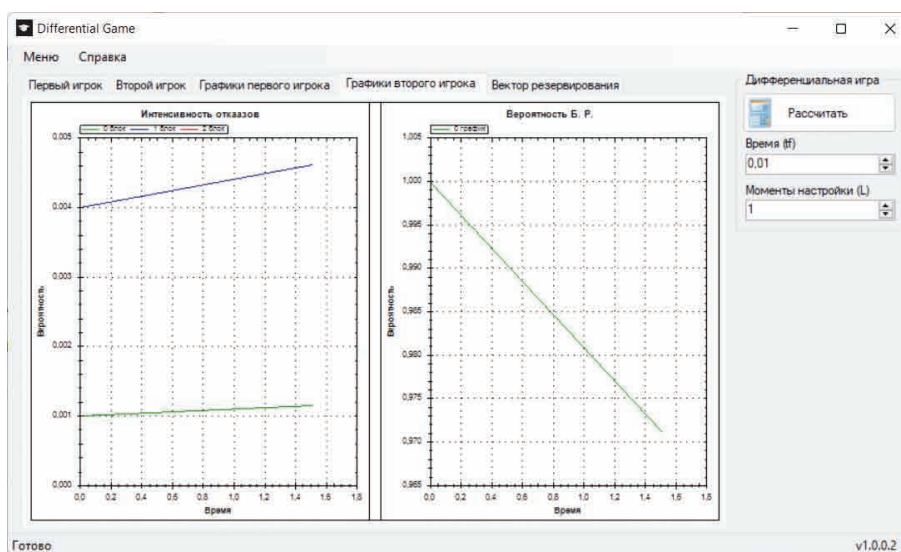


Рис. 2. Графики вычислений

Вкладка <вектор резервирования> (рис. 3) определяет оптимальные стратегии вычисления для первого и второго игроков соответственно: оптимальное время игры, вектор резервирования.

2. Программа для расчёта выбора стратегии поведения в конфликтных ситуациях двух противоборствующих аппаратно-избыточных, восстанавливаемых после отказов технических систем

Отличие данной программы от предыдущей в том, что вводятся ограничения на ресурсы нападения и защиты, и времени настройки системы после отказа соответствующего блока и замены его исправным (замена отказавших основных только резервными блоками из этой группы).

При запуске программы пользователь заходит в меню, которое состоит из разделённых по функциям вложенных выпадающих подменю и следующих окон (рис.4): входные параметры системы S^1 ; входные параметры системы S^2 ; графическая иллюстрация вычислений системы S^1 ; графическая иллюстрация вычислений системы S^2 ; определение вектора резервирования [4].

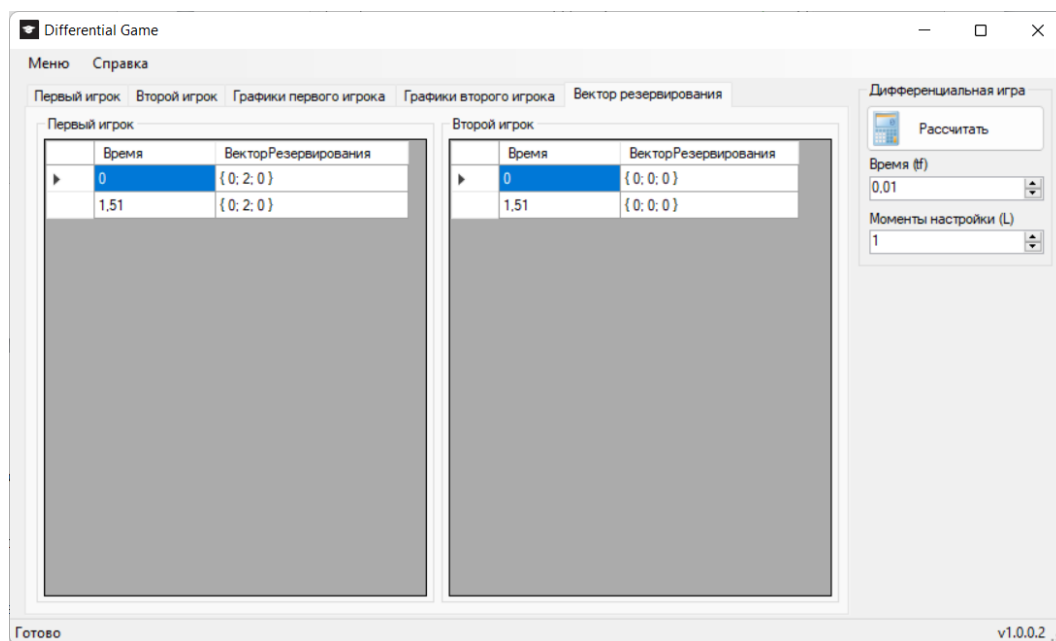


Рис. 3. Результаты вычислений

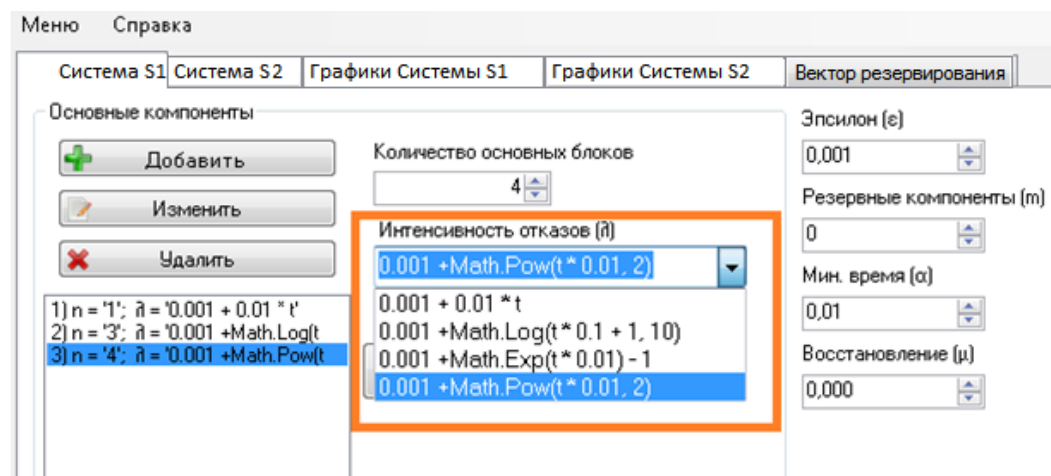


Рис. 4. Меню программы

Работа программы происходит следующим образом. Пользователю необходимо ввести исходные данные, затем запускается процесс приведения в состояния готовности входных данных, в результате которого сведения введённые пользователем, считываются из соответствующих элементов памяти и проходят процесс проверки на соответствие входному параметру.

Чтобы получить выходные данные вычислений, пользователь должен задать основные данные игроков, которые будут обеспечивать оптимальный результат. Таким образом, необходимо указать количество основных и резервных блоков S^g систем, значение функции интенсивности отказов основных блоков, эpsilon ε , отвечающая за точность вычисления, интенсивность восстановления μ отказавших блоков, минимальное время a подключения резервных компонентов.

Значение интенсивности отказов основных блоков конфликтующих систем может изменяться и принимать значения логарифмической, линейной, экспоненциальной и квадратичной функций.

Пользователю компьютерной программы предоставляется возможность самостоятельно изменять функции интенсивности отказов. Чтобы это сделать необходимо вручную редактировать, выбранный один из четырёх законов.

При нажатии на кнопку <Рассчитать> пользователь загружает процесс расчёта результатов вычислений. В программе происходит расчёт и вывод на экран графической иллюстрации вычислений каждой из S^g -систем, вектора резервирования, задающего оптимальную стратегию расположения резервных компонентов по q -группам и расчёт их оптимального времени подключения (рис.5).

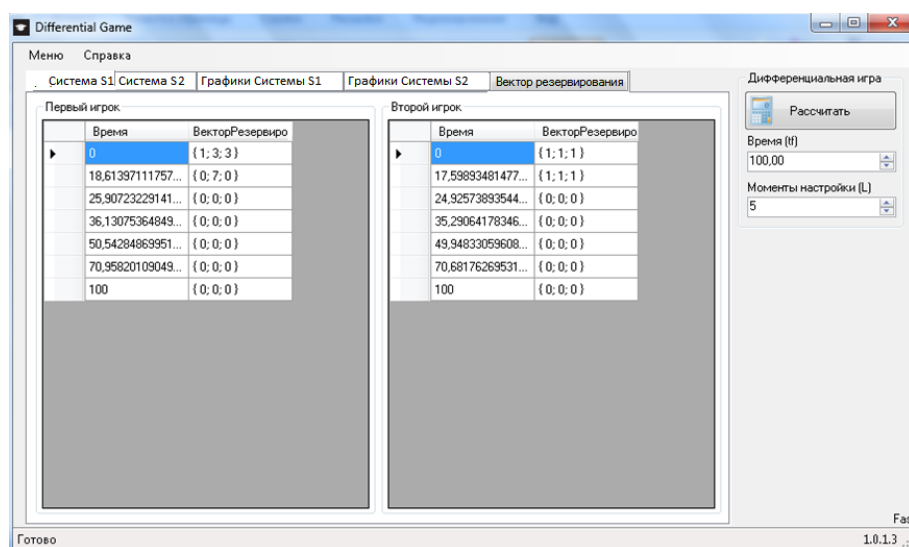


Рис. 5. Результаты вычислений программы 2

3. Программа для определения функциональной готовности человеко-машинной системы, участвующей в конфликтной ситуации

Программа выполняет следующие функции: ввод исходных параметров технической системы; расчёт вероятности безотказной работы технической системы, участвующей в конфликтной ситуации; расчёт среднего времени восстановления технической системы; расчёт функциональной готовности; графическая иллюстрация расчётов [3].

Интерфейс программы представлен на рисунке 6.

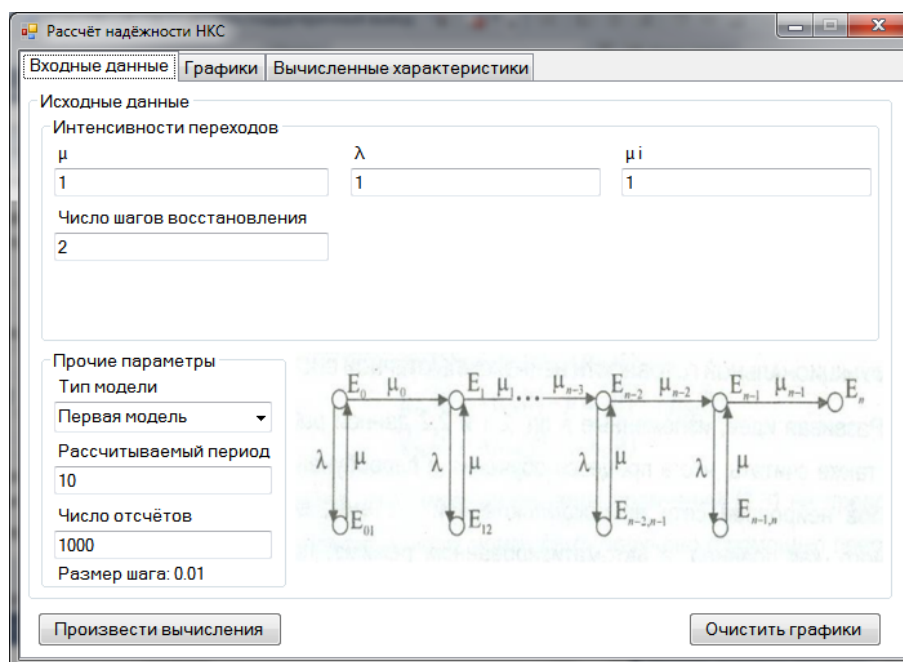


Рис. 6. Интерфейс программы

Порядок ввода данных в программу состоит из выбора вкладки <Входные данные> и выбора типа модели:

- 1) модель 1 это техническая система при абсолютно надёжном операторе и конечной надёжности аппаратно-программной части системы подготовки к работе;
- 2) модель 2 это техническая система при конечной надёжности оператора и аппаратно-программной части системы подготовки к работе;
- 3) модель 3 это система при конечной надёжности оператора и аппаратно-программной части системы подготовки к работе при зависимой от времени интенсивности выполнения операций подготовки.

Далее необходимо ввести рассчитываемый период и число отсчётов, затем ввести все необходимые коэффициенты, такие как интенсивности отказов и восстановлений, число шагов восстановления.

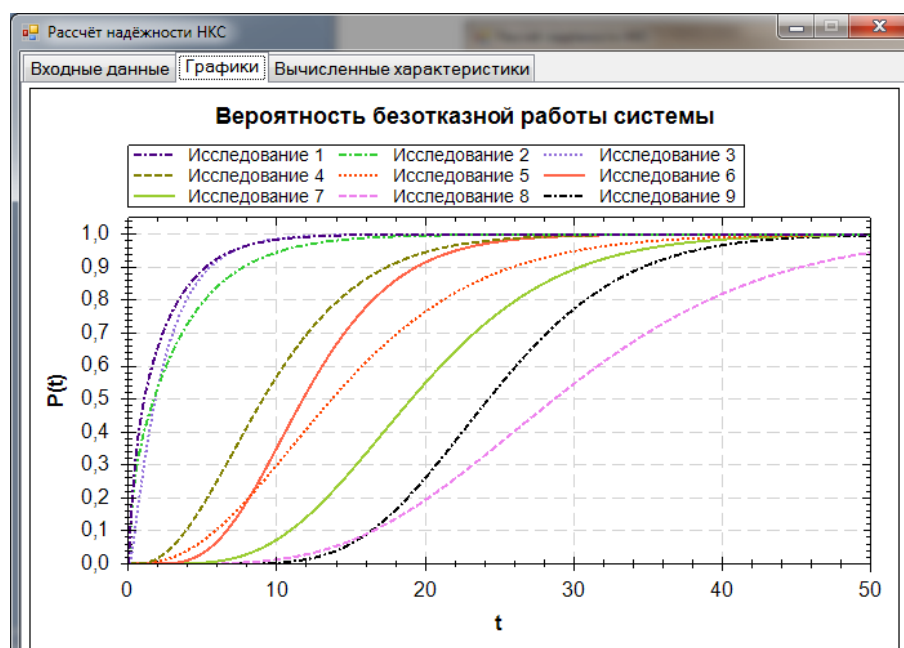


Рис. 7. Графики вычислений

Вычисленные характеристики			
Момент времени	Коэффициент функциональной готовности	Погрешность	
0	0,000000	0,000000	Среднее время восстановления системы: 3,863424
0,01	0,000049	0,000000	
0,02	0,000195	0,000000	
0,03	0,000432	0,000000	
0,04	0,000759	0,000000	
0,05	0,001170	0,000000	
0,06	0,001663	0,000000	
0,07	0,002235	0,000000	
0,08	0,002881	0,000000	
0,09	0,003600	0,000000	
0,1	0,004388	0,000000	
0,11	0,005242	0,000000	
0,12	0,006160	0,000000	
0,13	0,007139	0,000000	
0,14	0,008176	0,000000	
0,15	0,009268	0,000000	
0,16	0,010415	0,000000	

Рис. 8. Вычисленные характеристики

Результатом проводимых экспериментов являются массивы данных, содержащие время, вероятность безотказной работы и погрешность вычислений, а также графики зависимости вероятности от времени, значение среднего времени восстановления системы (рис. 7, 8).

Рассмотренные в статье программы реализованы на основе математических моделей, описанных в [1]. Разработанные и описанные выше программные обеспечения зарегистрированы в фонде электронных ресурсов и получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Потапов В.И. Противоборство технических систем в конфликтных ситуациях: модели и алгоритмы. Омск : Изд-во ОмГТУ, 2015. 168 с.
2. Горн О.А., Потапов В.И. Программное обеспечение «Решение задачи противоборства двух избыточных, восстанавливаемых после отказов технических систем». Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 20939 от 01.06.2015 г.
3. Горн О.А., Потапов В.И. Математические модели и программный комплекс для анализа функциональной готовности человеко-машинной динамической системы в конфликтной ситуации // Омский научный вестник. Сер. Информатика, вычислительная техника и управление. 2016. № 5. С. 136–141.
4. Горн О.А. Математическая модель, метод решения и программное обеспечение для поиска и исследования оптимальных стратегий поведения в конфликтных ситуациях двух динамических систем // Омский научный вестник. Сер. Информатика, вычислительная техника и управление. 2016. № 5. С. 142–147.
5. Беседина С.В., Фомин С.А. Теория игр как средство поддержки принятия решений в условиях военных конфликтов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 10. С. 53–55.

SOFTWARE PRODUCTS FOR SOLVING PROBLEMS OF MODELING (OPTIMAL CONTROL) OF OPPOSING OBJECTS INVOLVED IN A CONFLICT SITUATION

O.A. Terent'eva

Senior Teacher, e-mail: anatole4ka@yandex.ru

Dostoevsky Omsk State University

Abstract. In the article an analysis of software products developed by the authors for computer experiments conducted with conflicting technical systems is presented. Software products can be used to solve a wide range of confrontation problems not only for technical systems, but also for systems of a different physical nature, for example in research in the field of forest fire protection.

Keywords: software, conflict situation, fires, simulation.

Дата поступления в редакцию: 10.09.2022

WHY REJUVENATION ATTEMPTS OFTEN LEAD TO CANCER AND WHY CYCLIC REJUVENATION IS BETTER: A SIMPLE QUALITATIVE EXPLANATION

Olga Kosheleva

Ph.D. (Phys.-Math.), Associate Professor, e-mail: olgak@utep.edu

Vladik Kreinovich

Ph.D. (Phys.-Math.), Professor, e-mail: vladik@utep.edu

University of Texas at El Paso, El Paso, Texas 79968, USA

Abstract. Since the 1960s, biologists have shown that, contrary to the previous belief that ageing is irreversible, many undesirable biological effects of ageing can be reversed. First attempts to perform this reversal on living creatures were not fully successful: while mice achieved some rejuvenation, many of these rejuvenated mice developed cancer. Later experiments showed that these cancers can be avoided if we apply cyclic rejuvenation: a short period of rejuvenation followed by a longer pause. This modified strategy led to recent successes of mice that recovered their age-deteriorated vision and mice that recovered their heart tissue after a heart attack. However, why rejuvenation attempts often lead to cancer and why cyclic rejuvenation is better remained largely a mystery. In this paper, we provide a simple qualitative explanation of these two phenomena.

Keywords: rejuvenation, biological time reversal, cancer, cyclic application of rejuvenation.

1. Formulation of the Problem

Biological rejuvenation is possible. Until reasonably recently, biologists believed that ageing is an irreversible process: we may be able to slow it down by healthy lifestyle, but deterioration is inevitable and cannot be reversed. However, a deep analysis of the corresponding biological processes enabled researchers to show that biological rejuvenation *is* possible [2, 10]. For this ground-breaking research, John B. Gurdon and Shinya Yamanaka – the main authors of this discovery – received the 2012 Nobel Prize in Physiology or Medicine.

At first, the possibility of rejuvenation was shown on the cell level, but eventually, researchers showed that it is possible to rejuvenate the whole animal (specifically, a mouse) [3, 4, 6, 9].

Problem: rejuvenation often led to cancer. At first, researchers had great hopes that this technique can eventually be helpful for humans as well. However, further studies revealed an unfortunate (and often deadly) side effect: while the

rejuvenated aged mice indeed exhibited vital characteristics typical for younger animals, this rejuvenation led to a high occurrence of cancer; see, e.g., [1,8].

Transition to a cyclic process helps. Further studies showed that cancer occurrences can be drastically decreased if instead of a previously used continuous rejuvenation process – when the corresponding chemical are applied for a certain time period – we use a cyclic process, when a short period of forced rejuvenation is followed by a longer period of no interference: e.g., 2 days of forced rejuvenation followed by 5 days of no interference; see, e.g., [7].

This approach has led to such successes as restoring vision in mice that became blind with age [?], and to regenerate mouse's heart tissue after the heart attack [11,12].

But why? But why does rejuvenation often lead to cancer? And why does a cyclic application of rejuvenation work better?

In this paper, we provide a simple qualitative explanation for these facts.

2. Why Does Rejuvenation Often Lead to Cancer?

Rejuvenation means, in a nutshell, reserving direction of (biological) time. Rejuvenation means that we reverse the direction of the biological processes corresponding to ageing.

This time reversal is not limited to ageing. It is important to take into account that all the biological processes inside a body are highly related. Thus, when we reverse the biological processes corresponding to ageing, this affects other biological processes, so they may also get reversed – although probably not at the same level as processes corresponding ageing.

What other biological processes are affected by this time reversal? What are these other processes? Ageing is a visible process, in which the vital characteristics decrease with time. The reversal of these processes means that the values of these characteristics starts increasing, thus negative the effect of the previous ageing-related decrease. There are many other biological processes in which some characteristics decrease – processes which may be not so visible at first glance, but which are crucial for the survival of a living creature. Specifically, if there is any undesirable deviation from the optimal value of some characteristic, the body tries to bring the corresponding characteristic back to normal. For example:

- If the concentration of undesired bacteria becomes too large, the body tries its best to fight back and to decrease this concentration to a tolerable level.
- If the number of cells with undesired mutations increases beyond some threshold, the body starts actively attempting to destroy these cells, to bring their number to the tolerable level.

What does time reversal mean for these processes? For fighting against bacteria, time reversal means that, instead of decreasing, the concentration of

undesired bacteria will increase – i.e., that a small infection will cause a serious illness. While this is theoretically possible, in the laboratory conditions, when the mice experiments are performed, researchers try to preserve the purity of an experiment – and thus, the lab environment is regularly sterilized, to avoid any outside infections. So, in the corresponding experiments, there will probably be practically no undesired bacteria, so no serious illnesses will be observed.

On the other hand, mutated cells are always present. For these cells, time-reversal means that the number of such cells will start increasing – and this is exactly what is usually called cancer, when we have a rapidly increasing number of mutant cells. So, from this viewpoint, the appearance of cancer is very natural.

3. Why Does a Cyclic Application of Rejuvenation Work Better?

General explanation. Ageing-related rejuvenation happens very fast – in a few weeks, the results of several years of ageing are reversed. This rejuvenation is very fast because this is exactly the intent of this procedure: all the parameters of the rejuvenation procedure are selected so as to reach the maximal rejuvenation affect in a given moment of time.

As we have mentioned, because all biological processes are related, time-reversal of the ageing process is inevitably accompanied by time-reversal of other biological processes – in particular, processes that normally prevent most tumors to occur and that, when time-reversed, lead to cancerous tumor growth. However, this secondary effect is – as usual for secondary effects – much smaller than the original time-reversal effect for ageing. Thus, the reversal of this secondary process during a week does not reverse the changes that happened during years – as in the case of ageing – it only reverses the changes that happened probably during a few weeks.

So, if we perform the rejuvenation procedure for a short time (e.g., for a week) and then pause for a slightly longer time (e.g., for two weeks), the ageing effect of the rejuvenation will not be canceled – that would require a year-long pause – while the negative time-reversal side effect of this procedure will be eliminated by the pause. At a result, while the number of undesired mutant cells somewhat increases during the rejuvenation procedure, this increase is small and it is canceled by the later period and never reaches a dangerous level.

So, during each rejuvenation-pause cycle, we get an anti-ageing effect but the number of undesired mutant cells does not increase. So, if we repeat this cycle several times, we get a larger and larger anti-ageing effect, while avoiding the undesired appearance of cancer. This explains why a cyclic application of rejuvenation works better.

Illustration. Let us illustrate the above ideas in quantitative terms. Let us assume that each day, natural ageing decreases the value of a desired characteristic by a factor of $a < 1$ and that each day of rejuvenation procedure eliminates the effect of $N \gg 1$ days of ageing – i.e., increases the value of this characteristic by the value

a^{-N} . This way, if we apply this procedure for d days, we increase the value of the desired characteristic by $(a^{-N})^d = a^{-N \cdot d}$.

What about the side effect? Let us denote the factor by which the number of mutant cells decreases during a week by m . For this process, time-reversal is not as efficient as time-reversal of ageing, so a day of anti-ageing rejuvenation procedure only cancels the effect of $n \ll N$ days of anti-mutant-cells fight. In other words, one day of rejuvenation increases the number of mutant cells by m^{-n} . If we simply apply this procedure for d days, we increase the number of mutant cells by a factor of $(m^{-n})^d = m^{-n \cdot d}$, which may be a significant (and even deadly) increase.

To avoid this side effect, let us follow each day of rejuvenation by a pause lasting, e.g., $n + 1$ days. In this case, in each cycle, the desired characteristics first increases by a factor a^{-N} , and then decreases by a factor a^{n+1} . So, at the end of the cycle, we get an overall increase by a factor $a^{-N} \cdot a^{n+1} = a^{N-(n+1)}$. Since $n \ll N$, this is almost the same increase as in the situation when we do not make a pause, and just apply one day of rejuvenation. So, after d cycles, we gain practically the same rejuvenation effect as after d days of continuous rejuvenation. In other words, in terms of ageing reversal, the addition of pauses does not change the effect.

However, with respect to the side effect, the addition of pauses makes a drastic difference. Indeed, in this case, the initial increase by a factor of m^{-n} is followed by a pause-caused decrease by a factor of m^{n+1} . So, at the end of the cycle, the number of mutant cells changes by a factor of $m^{-n} \cdot m^{n+1} = m$. Since $m < 1$, this concentration decreases at the end of a cycle. So, after d cycles, the concentration of mutant cells decreases by a factor of $m^d \ll 1$.

The largest increase in concentration during these cycle is to the value m^{-n} , which is much smaller than the original increase to the level $(m^{-n})^d \gg m^{-n}$. If it so happens that this value m^{-n} is still too high – we can instead of performing rejuvenation of the whole day perform it for a few hours or even minutes – the anti-ageing effect will be largely the same, but the largest number of the mutant cells will be as close to the original one as we want. So, by choosing a sufficiently small rejuvenation period within each cycle, we can make sure that the number of mutant cells will never reach the danger threshold and thus, that cancerous side effects will be avoided.

Acknowledgments

This work was supported in part by the National Science Foundation grants 1623190 (A Model of Change for Preparing a New Generation for Professional Practice in Computer Science), and HRD-1834620 and HRD-2034030 (CAHSI Includes), and by the AT&T Fellowship in Information Technology.

It was also supported by the program of the development of the Scientific-Educational Mathematical Center of Volga Federal District No. 075-02-2020-1478, and by a grant from the Hungarian National Research, Development and Innovation Office (NRDI).

The authors are thankful to Hung T. Nguyen for his encouragement.

REFERENCES

1. Abad M., Mosteiro L., Pantoja C., Cañamero C.M., Rayon T., Ors I., Graña O., Megías D., Domínguez O., Martínez D., Manzanares M., Ortega S., and Serrano M. Reprogramming in vivo produces teratomas and iPS cells with totipotency features. *Nature*, 2013, vol. 502, pp. 340–345.
2. Gurdon J.B. Adult frogs derived from the nuclei of single somatic cells. *Developmental Biology*, 1962, vol. 4, no. 2, pp. 256–273.
3. Lapasset L., Milhavet O., Prieur A., Besnard E., Babled A., Aït-Hamou N., Leschik J., Pellestor F., Ramirez J.-M., De Vos J., Lehmann S., and Lemaitre J.-M. Rejuvenating senescent and centenarian human cells by reprogramming through the pluripotent state. *Genes and Development*, 2011, vol. 25, pp. 2248–2253.
4. Liu G.-H., Barkho B.Z., Ruiz S., Diep D., Qu J., Yang S.-L., Panopoulos A.D., Suzuki K., Kurian L., Walsh C., Thompson J., Boue S., Fung H.L., Sancho-Martinez I., Zhang K., Yates III J., and Izpisua Belmonte J.C. Recapitulation of premature ageing with iPSCs from Hutchinson-Gilford progeria syndrome. *Nature*, 2011, vol. 472, pp. 221–225.
5. Lu Y., Brommer B., Tian X., Krishnan A., Meer M., Wang C., Vera D.L., Zeng Q., Yu D., Bonkowski M.S., Yang J.H., Zhou S., Hoffmann E.M., Karg M.M., Schultz M.B., Kane A.E., Davidsohn N., Korobkina E., Chwalek K., Rajman L.A., Church G.M., Hochedlinger K., Gladyshev V.N., Horvath S., Levine M.E., Gregory-Ksander M.S., Ksander B.R., He Z., and Sinclair D.A. Reprogramming to recover youthful epigenetic information and restore vision. *Nature*, 2020, vol. 588, no. 7836, pp. 124–129.
6. Mahmoudi S. and Brunet A. Aging and reprogramming: a two-way street. *Current Opinion in Cell Biology*, 2012, vol. 24, no. 6, pp. 744–756.
7. Ocampo A., Reddy P., Martinez-Redondo P., Platero-Luengo A., Hatanaka F., Hishida T., Li M., Lam D., Kurita M., Beyret E., Araoka T., Vazquez-Ferrer E., Donoso D., Roman J.L., Xu J., Rodriguez Esteban C., Nuñez G., Nuñez Delicado E., Campistol J.M., Guillen I., Guillen P., and Izpisua Belmonte J.C. In vivo amelioration of age-associated hallmarks by partial reprogramming. *Cell*, 2016, vol. 167, pp. 1719–1733.
8. Ohnishi K., Semi K., Yamamoto T., Shimizu M., Tanaka A., Mitsunaga K., Okita K., Osafune K., Arioka Y., Maeda T., Soejima H., Moriwaki H., Yamanaka S., Woltjen K., and Yamada Y. Premature termination of reprogramming in vivo leads to cancer development through altered epigenetic regulation. *Cell*, 2014, vol. 156, pp. 663–677.
9. Rando T.A. and Chang H.Y. Aging, rejuvenation, and epigenetic reprogramming: resetting the aging clock. *Cell*, 2012, vol. 148, no. 1–2, pp. 46–57.
10. Takahashi K. and Yamanaka S. Induction of pluripotent stem cells from mouse embryonic and adult fibroblast cultures by defined factors. *Cell*, 2006, vol. 126, pp. 663–676.
11. Xiao S., Liang R., Lucero E., McConnell B.K., Chen Z., Chang J., Navran S., Schwartz R.J., and Iyer D. STEMIN and YAP5SA synthetic modified mRNAs regenerate and repair infarcted mouse hearts. *The Journal of Cardiovascular Aging*, 2022, vol. 2, paper 31.

12. Xiao S., Liang R., Muili A.B., Cao X., Navran S., Schwartz R.J., and Iyer D. Mutant SRF and YAP synthetic modified mRNAs drive cardiomyocyte nuclear replication. The Journal of Cardiovascular Aging, 2022, vol. 2, paper 29.

ПОЧЕМУ ПОПЫТКИ ОМОЛОЖЕНИЯ ЧАСТО ПРИВОДЯТ К РАКУ И ПОЧЕМУ ЦИКЛИЧЕСКОЕ ОМОЛОЖЕНИЕ ЛУЧШЕ: ПРОСТОЕ КАЧЕСТВЕННОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ

О. Кошелева

Ph.D., доцент, e-mail: ogak@utep.edu

В. Крейнович

Ph.D., профессор, e-mail: vladik@utep.edu

Университет Техаса в Эль Пасо, США

Аннотация. Начиная с 1960-х годов биологи показали, что, вопреки ранее существовавшему убеждению, что старение необратимо, многие нежелательные биологические эффекты старения можно обратить вспять. Первые попытки осуществить это обращение на живых существах не увенчались успехом: хотя мыши достигли некоторого омоложения, у многих из этих омоложенных мышей развился рак. Более поздние эксперименты показали, что этих видов рака можно избежать, если применять циклическое омоложение: за коротким периодом омоложения следует более длительная пауза. Эта модифицированная стратегия привела к недавним успехам мышей, у которых восстановилось ухудшенное с возрастом зрение, и мышей, у которых восстановилась ткань сердца после сердечного приступа. Однако, почему попытки омоложения часто приводят к раку и почему циклическое омоложение лучше, оставалось во многом загадкой. В этой статье мы даём простое качественное объяснение этих двух явлений.

Ключевые слова: омоложение, обращение биологического времени, рак, циклическое применение омоложения.

Дата поступления в редакцию: 28.06.2022

БУДУЩИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ СОДЕРЖАТСЯ В ФИЛОСОФСКИХ ТЕКСТАХ

А.К. Гуц

д.ф.-м.н., профессор, e-mail: aguts@mail.ru

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия

Аннотация. Высказывается предположение, что язык философа отражает то или иное описание внешнего физического мира. Было бы полезно философам-педагогам говорить об этом студентам.

Ключевые слова: язык философа, философия и физика, преподавание философии.

О проблемах преподавания философии физикам и математикам должны писать философы. Но важен и взгляд обучаемых на преподаваемую им философию.

Я могу высказать свои соображения о том, как философию следует преподавать, но в какой-то мере эти соображения носят исторический характер, поскольку я обучался философии в 1960-е годы.

1. Для чего нужна философия

Во-первых, это была марксистско-ленинская философия, и отступление от неё грозило тогда преподавателям неприятностями.

Во-вторых, это были времена физиков. Молодёжь мечтала быть физиками. В какой-то мере, к этому подталкивали фильмы в кинотеатрах. Достаточно вспомнить «Девять дней одного года», «Улица Ньютона, дом № 1», «Ещё раз про любовь».

В-третьих, это были времена хрущёвской оттепели, хотя уже веяло осенними ветрами. Молодые физики задавали тон интеллектуального отношения к окружающей реальности, к реалиям общества. Они везде выражали своё мнение и проявляли интерес ко многому вне физики. Спорили с «лириками» и, естественно, философствовали. Не удивительно, что аудитория на лекциях философа Алексеева на физфаке Новосибирского университета была заполнена.

Наконец, преподаваемая тогда в университетах философия сильно различалась в зависимости от статуса университета или его географического положения. Где-то был большой интерес к лекциям по философии, а где-то это было мучением.

Мне философию, а это был мехмат НГУ, читал замечательный философ Михаил Александрович Розов. Семинары по диалектике вел его жена Сталина Александровна, а по истмату В.И. Гуваков.

Слушать Розова было трудно. Он явно пытался «математизироваться». Приносил в большом портфеле книги, чаще всего это были математические книги, например Френкель и Бар-Хиллел «Основания математики», зачитывал цитаты из них, рисовал на доске разные схемы. Ходили на его лекции достаточно хорошо (на курсе было человек 200), слушали внимательно. Но не скажу, что лекции были на ура.

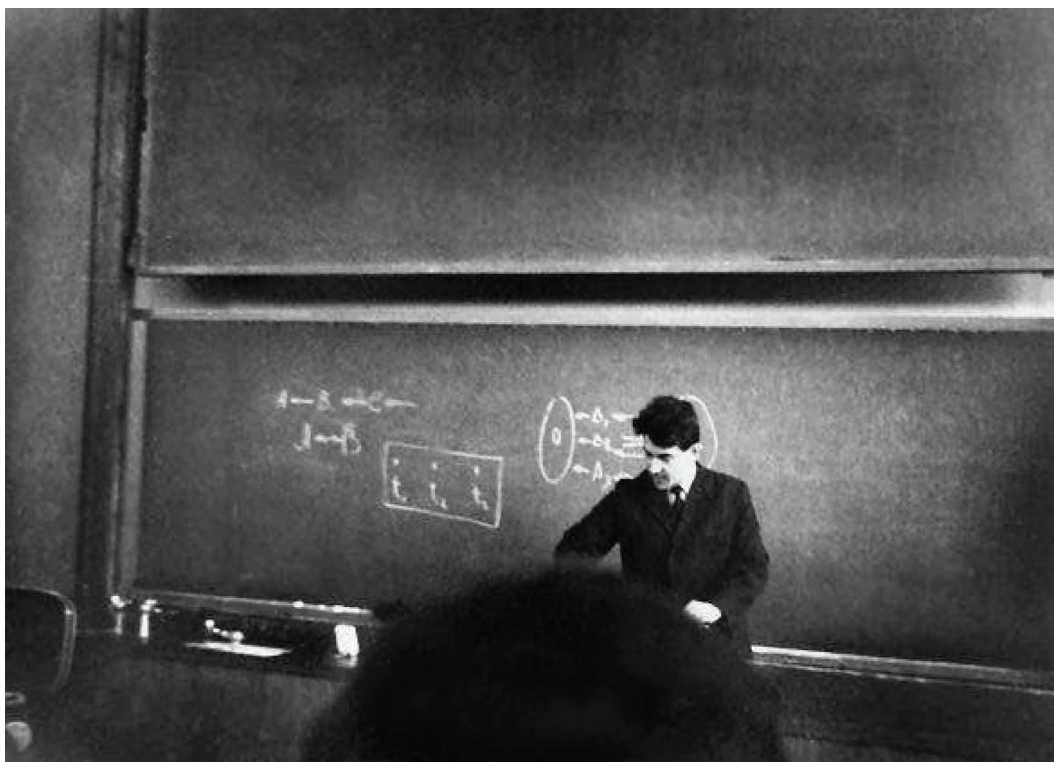


Рис. 1. М.А. Розов на лекции. Большая химическая аудитория, 1960-е

Позже, будучи, аспирантом и куратором группы 1-го курса, я пригласил М.А. Розова на встречу с моими подопечными. Он был удивлён, но согласился. Студенты были уже другими (начало 1970-х, оттепель закончилась). После беседы со студентами, мы с ним поговорили. Спросил, слушал ли я его лекции? Да, слушал. Извините, но Вы позитивист. Он был ошарашен (он обязан был быть марксистом). Стал разъяснять свою позицию в философии. Сейчас я думаю, что я был не прав – вряд ли я хорошо разбирался в течениях в философии. В схемах Розова, которых было много, а философы, как мне думалось, должны не рисовать, а глагольствовать, я видел желание свести философию к конкретной науке – математике.

Но возвращаясь к его лекциям скажу, что однажды он принёс Витгенштейна «Логико-философский трактат». Скорее всего это было издание 1954 года.

Розов сказал нам: «Если сейчас начнете читать, то вряд ли прочтёте более 3-4 страниц. В дальнейшей жизни вам будет не до Витгенштейна, все-таки, вы математики, а не философы. Но когданибудь лет через двадцать-тридцать от-

кройте и попытайтесь читать. И не раз попытайтесь... И когда вдруг дочитаете до конца, то, знаете, вы состоялись».

Лично я купил эту книгу, вспомнив слова Розова, в 1990-е, когда её стали издавать. Открыл.... закрыл. Лет через пять – открыл... закрыл. Прочитал в 2003 году. Не думаю, что я «состоялся», но что-то во мне поменялось.

Во всяком случае, возможно, именно поэтому я стал заглядывать в философские труды и... написал вот эти заметки.

Итак, философия в вузе нужна – Вы можете встретить на лекциях человека-философа, который лично Вам внушит, что к философии надо относиться внимательно... она Вам пригодится, она подскажет Вам, что Вы «состоялись».

Но есть нечто, что меня настораживает: почему в наше время мы с трудом читаем гениальных философов (лучше сказать, что не в состоянии их читать и понимать), а в XIX веке молодые люди их читали? Читали Канта, Гегеля, Шопенгауэра и прочих... Неужели понимали? Неужели Маркс и Энгельс легко понимали Гегеля? Ленин, во всяком случае, как я это воспринимаю, с большим трудом и упорством в 40-летнем возрасте штурмовал «Логику» Гегеля.

Наверное, философы-педагоги как-то должны это разъяснять, а то ведь витает у студента где-то мысль о собственной неполноценности, которая блокируется плохим отношением к самой философии.

А теперь выскажу «придуманную вдруг мысль» о связи текстов гениальных философов с физическими теориями с той точки зрения, что гении-философы чувствовали будущие физические теории, но в силу отсутствия в их эпоху необходимого математического аппарата вынуждены были придумывать особый вербальный язык, на котором они доносили до современников теории, описывающие физический внешний мир.

2. Гениальные философы и физика

Гениальные философы создают язык, на котором говорят его творения, предсказывающие будущие физические теории, но только в неформализованной форме. Чем дальше в будущее он (неосознанно) заглядывает, тем сложнее его язык.

Скорее всего, то что я пишу ниже есть чистый неопозитивизм, поскольку я свожу «задачи философии не к систематизации конкретного естественно-научного знания, а к деятельности по анализу языковых форм знания». Но, возможно, я, по-прежнему, плохо разбираюсь в философских течениях.

Витгенштейн полагал, что мир взаимодействующих объектов представляется фактами. Факты даются через язык. Язык не предполагается формализованным и доступен любому исследователю. Сложные языковые предложения в действительности описывают Мир.

Философ, пишущий упрощённым языком о Внешнем мире (например Аристотель и его «Физика»), описывает классическую физику.

Язык Канта – это физика, использующая классические взгляды на Мир с элементами грядущей новой физики (теория относительности и квантовая механика).

Язык Гегеля предельно сложен и соответствует квантовой физике. Суметь формализовать язык Гегеля – значит суметь построить квантовые макроскопическую физику, космогонию и космологию. Читать и понять Гегеля ещё трудно потому, что он торопился *записать то, что мысленно видел* [1].

Язык Хайдеггера, возможно, отвечает формальному описанию сознания. Но это вообще сверхзадача. Поэтому философ придумал такой язык, который (где-то читал) понимал только он сам.

3. Заключение

Вывод: физики читайте гениальных Гегеля и Хайдеггера! Разгадаете их код — постройте теории, в которых Вы нуждаетесь. Ну, а преподаватели философии как-то на лекциях должны внушать физикам, где лежат закодированные тексты, описывающие Мироздание.

ЛИТЕРАТУРА

1. Труфанов С.Н. «Наука логики» Гегеля в доступном изложении. Самара: Изд-во «Парус», 1999. 192 с.

FUTURE PHYSICAL THEORIES ARE CONTAINED IN PHILOSOPHICAL TEXTS

A.K. Guts

Dr.Sc. (Phys.-Math.), Professor, e-mail: aguts@mail.ru

Dostoevsky Omsk State University, Omsk, Russia

Abstract. It is suggested that the philosopher's language reflects one or another description of the external physical world. It would be helpful philosopher-educators to talk about it to students.

Keywords: the language of a philosopher, philosophy and physics, teaching philosophy.

Дата поступления в редакцию: 10.10.2022

МЕТОДИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ПРИМЕРОВ И КОНТРПРИМЕРОВ В КОГНИТИВНО-РЕФЛЕКСИВНОМ СТИЛЕ ПОНИМАНИЯ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ

В.А. Еровенко

д.ф.-м.н., профессор, e-mail: erovenko@bsu.by

В.А. Прокашева

к.ф.-м.н., доцент, e-mail: prover@bsu.by

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Аннотация. Проблема методических функций использования примеров и контрпримеров в когнитивно-рефлексивных проблемных ситуациях при изучении содержательных разделов высшей математики специально не изучалась с точки зрения понимания математики. С одной стороны, примеры и контрпримеры помогают осмыслить абстрактную формулировку математических определений, а с другой стороны, с их помощью можно проверить математическое утверждение на его истинность. В статье анализируя сущность контрпримера, как важнейшего когнитивно-рефлексивного понятия математического знания, поскольку его образовательная роль в познании методически недооценивается не только нематематиками, но иногда даже преподавателями высшей математики.

Ключевые слова: функции примеров и контрпримеров, когнитивно-рефлексивный стиль преподавания, проблема понимания разделов высшей математики..

Начать хотелось бы с того, что хорошая тренировка мозга идёт только на пользу любому студенту, изучающему математику. Когнитивно-рефлексивный стиль изложения таких важных разделов математики как математический и функциональный анализ влияет не только на уровень обоснования математики, но еще и с помощью специально подобранных контрпримеров способствует пониманию указанных разделов высшей математики в том числе и для студентов-нематематиков.

Кроме того, проблема правильной и убедительной аргументации в формировании математического мышления студентов-нематематиков – это еще и сложная психологическая проблема *эффекта исполнителя* при поиске языка изложения математической темы на лекции, способного минимизировать пассивность студента. Однако без понимания точности используемых математических понятий и необходимости используемых в формулировке теоремы условий ее доказательство часто затруднено.

Иногда некоторые условия или предположения теорем, находясь как бы в тени формулировки теоремы, кажутся отчасти несущественными, а заключение теоремы при изучении доказательства в такой ситуации представляются справедливыми и без них. В этом и заключается методологическая роль контрпримеров в когнитивно-проблемной ситуации, когда для понимания утверждения возникает потребность в анализе разных условий теоремы.

В настоящее время, несмотря на все инновационные преобразования университетского математического образования, важнейшей способностью студентов, изучающих в любом объеме разделы курса высшей математики является их когнитивно-рефлексивное умение анализировать новую для них информацию на ее истинность или ложность.

Одним из эффективных средств познания в этом философско-методологическом направлении для повышения уровня понимания математики, а особенно математического анализа, являются контрпримеры, которые явно показывают, что данное математическое утверждение даже при незначительном изменении его формулировки может быть ложным.

В общей ситуации методическая функция контрпримеров проявляется в понимании обязательности одного или всех условий теоремы. Указанная методика обучения математике, состоит «в использовании контрпримеров для активизации процесса обучения математическому анализу на его начальном этапе для лучшего понимания студентами как смысла вводимых понятий, так и логики изложения материала» [1, с. 82]. Так в курсе математического анализа можно даже рассмотреть пример *патологической функции* Вейерштрасса, являющейся непрерывной, но не дифференцируемой.

Контрпримеры либо демонстрируют ограниченность действия определения или правила; либо опровергают конкретное ошибочное утверждение, полученное, например, отбрасыванием отдельных предположений исходного утверждения или его обращением; либо, наконец, показывают только достаточность или только необходимость условий и предположений в утверждении [2].

Наш опыт преподавания отдельных разделов высшей математики для нематематических специальностей по проблемно-ориентированному принципу показал, что несмотря на появление новых инновационных компьютерно-информационных технологий, все же главный принцип когнитивно-рефлексивного стиля математического образования остается прежним, а именно, сначала определения и их свойства, утверждения и теоремы, а также их следствия, то есть сначала теория, а затем примеры, контрпримеры и соответствующие приложения теории.

Философско-методологическая роль математического доказательства состоит в обосновании истинности математического рассуждения, пониманию которого способствуют также специально подобранные примеры и контрпримеры для осознания важности и необходимости используемых определений и утверждений. С точки зрения *критического мышления* при изучении разделов высшей математики у студентов-естественников в их образовательной деятельности должен вырабатываться определенный исследовательский уровень, который может стать отправной точкой для дальнейшего развития профессионального

логического мышления [3].

Заметим также, что примеры, иллюстрирующие математические понятия и явно показывающие справедливость математических утверждений, или контр-примеры, опровергающие некоторые предположения, способствуют развитию критически-рефлексивного мышления, выполняющего функции правильности математических решений и новых идей.

Актуальной задачей общего математического образования студентов естественнонаучных специальностей является проблема «поддержания равновесия» между формальной и неформальной составляющими точного математического знания. Так категоричность когнитивно-рефлексивных математических рассуждений и утверждений характеризует культуру математики, отличающуюся от суждений представителей естественных наук. А *методическая функция* примеров и контрпримеров в математике проявляется еще и в предостережении от ошибочных обобщений и ложных аналогий, например, при переносе утверждений из математического анализа в функциональный анализ.

В качестве обосновательного примера можно указать на статью математиков, в которой «приводятся примеры, показывающие, что в общих метрических пространствах не выполняются классические теоремы о непрерывных функциях: Вейерштрасса об ограниченности и достижении граней, а также теорема Кантора о равномерной непрерывности» [4, с. 3]. Так с точки зрения когнитивно-рефлексивного стиля понимания высшей математики целесообразно привести примеры, показывающие, что теоремы математического анализа в метрических пространствах могут не выполняться, используя анализ когнитивных причин, приводящих в общих метрических пространствах, то есть в функциональном анализе, к разным результатам. Образовательная стратегия и методическая функция таких примеров состоит еще в том, чтобы обратить внимание студентов на ряд «неприятных» вопросов или «опасных» моментов, при встрече с которыми, не имея достаточного опыта, можно дать неправильные ответы по сути понимания [5].

В заключение заметим, что, не умаляя важную роль иллюстративных примеров в высшей математике, которые еще показывают осмысленность математического утверждения, методическая функция контрпримеров, прежде всего, проявляется в особой когнитивно-рефлексивной процедуре, показывающей, что некоторое математическое утверждение может быть лишено смысла.

Такая методика преподавания избранных тем и отдельных разделов высшей математики для студентов-нематематиков позволяет им более глубоко осмыслить проблемный вопрос, делая его более понятным. Построение таких контрпримеров в хорошо продуманном курсе разделов высшей математики по сути является неотъемлемой частью когнитивно-рефлексивного стиля *математического мышления*, так как благодаря им можно обосновывать, аргументировать и опровергать. Справедливости ради, следует также отметить, что использования контрпримеров при изучении математики, несмотря на широкий диапазон их применения, не мешает формировать приемы критического мышления при формально-логическом анализе задач алгоритмического типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Климчук С. Контрпримеры в курсе математического анализа / Иванов О, Климчук С. Математический анализ для первокурсников. М.: МЦНМО, 2013. С. 79-136.
2. Шибинский В.М. Примеры и контрпримеры в курсе математического анализа. М.: Высшая школа, 2007. 543 с.
3. Еровенко В.А., Прокашева В.А. Развитие математической креативности студентов в ходе применения инновационных подходов преподавания курса высшей математики // Инновации в образовании. 2020. № 2. С. 12-23.
4. Порошкин А.А., Порошкин А.Г. Три примера в анализе // Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1. 2011. Вып. 13. С. 3-10.
5. Гелбаум Б., Олмстед Дж. Контрпримеры в анализе. 3-е издание. М.: Издательство ЛКИ, 2010. 248 с.

**METHODICAL FUNCTIONS OF EXAMPLES AND COUNTER-EXAMPLES
IN COGNITIVE-REFLEXIVE STYLE OF UNDERSTANDING HIGHER
MATHEMATICS**

V.A. Erovenko

Dr.Sci., professor, e-mail: erovenko@bsu.by

V.A. Prokasheva

Ph.D., asso professor, e-mail: prover@bsu.by

Belarus State University, Minsk, Belarus'

Abstract. The problem of methodological functions of examples and counterexamples in cognitive-reflexive problem situations in the study of meaningful sections of higher mathematics has not been specifically studied in terms of understanding mathematics. On the one hand, examples and counterexamples help to comprehend the abstract formulation of mathematical definitions, and on the other hand, with their help you can test the mathematical statement for its truth. The article analyzes the essence of the counterexample as the most important cognitive-reflective concept of mathematical knowledge. Its educational role in cognition is methodically underestimated not only by non-mathematicians, but even by teachers of higher mathematicians.

Keywords: functions of examples and counterexamples, cognitive-reflexive teaching style, the problem of understanding higher mathematics..

Дата поступления в редакцию: 10.09.2022

Геннадий Андреевич Носков

26.05.1950 – 26.07.2022



26 июля 2022 года после долгой болезни скончался Геннадий Андреевич Носков — доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Омского филиала Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН.

Геннадий Носков родился 26 мая 1950 г. в г. Омске. Учился с 1967 по 1972 год на механико-математическом факультете Новосибирского государственного университета. В 1975 году с защитой кандидатской диссертации закончил аспирантуру НГУ. Научный руководитель проф. Юрий Иванович Мерзляков.

В 1975 г. приехал работать в Омский государственный университет.

С 1975 по 1995 год доцент кафедры алгебры Омского государственного университета (учёное звание присвоено в 1992 г.).

Читал основные курсы: математический анализ на физическом факультете, теория вероятностей и математическая статистика, математическое программирование на экономическом факультете, аналитическая и дифференциальная геометрия, математическая логика, дифференциальные уравнения на математическом факультете.

Научные интересы: исследования в области геометрической теории групп; исследование геометрий Гильберта. Дважды был автором нашего журнала (№ 3 (31) за 2014 и № 4 (36) за 2015)

В 2011 году защитил докторскую диссертацию «Алгоритмические и метрические проблемы в теории бесконечных групп». Было найдено положительное решение проблемы сопряжённости для класса конечно порождённых метабелевых групп. Получена характеристика конечно порождённых разрешимых групп с разрешимой элементарной теорией (решение проблемы М.И. Каргаполова).

Решена проблема рода для свободных метабелевых групп: род конечно порождённой метабелевой групп тривиален.

В 1998-2008 гг. занимал исследовательские позиции в Университете Beiefeld (Германия).

В 2016 году научный консультант Института Вейцмана (Израиль).

Геннадий Андреевич всегда стремился к качественному существованию: если иметь пластинки с песнями Битлз, то покупал оригинальные пластинки, если играть в дворовой команде в футбол, то обувался в профессиональные бутсы, если одеться летом, то в белые брюки. И его математические достижения также качественные.

Его интересовала не только алгебра. В собранной им библиотеке книг можно было видеть неожиданное: будь то книга о биологических формах или теоретическая механика. С скромный.

Его суждения о политической жизни, когда ещё существовал СССР, были сдержанны и всегда рациональны.

Его подкараулила коварная болезнь, он боролся, но болезнь взяла верх. Его прах рассеян в пространстве... Так он пожелал.

Редакция журнала

Андрей Николаевич Фирсов

25.11.1949 – 09.09.2022



Умер член редколлегии нашего журнала Андрей Николаевич Фирсов – доктор технических наук, профессор.

Андрей Фирсов родился 25 ноября 1949 г. в г. Ленинграде. Закончил (1967) Специализированную школу-интернат № 45 (ныне Академическая гимназия) при ЛГУ им. А.А. Жданова. В 1972-1975 годах был студентом, затем аспирантом математико-механического факультета Ленинградского государственного университета по специальности «гидроаэромеханика».

Кандидат физико-математических наук (1975), доктор технических наук (2012). Член-корреспондент Международной академии наук высшей школы (2004).

В 1975 г. приехал по распределению работать в Омский государственный университет.

Работал с 1976 по 1980 год в Омском университете, будучи доцентом кафедры математического анализа, затем – кафедры теоретической физики, читал курсы математического анализа и дифференциальных уравнений для студентов физического факультета и механики для студентов математического факультета.

С 1980 по 1982 год заведовал кафедрой теоретической механики Омского политехнического института, где читал курс теоретической механики на факультете автоматических установок.

С 1982 по 1991 год – доцент кафедры высшей математики ЛЭИС им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, читал курс высшей математики на различных факультетах этого института. В этот же период (с 1985 г.) руководит межвузовским семинаром по математическим задачам кинетической теории газов.

Доцент кафедры системного анализа и управления СПбГПУ с 1999 года, профессор – с 2011 года. Заместитель заведующего кафедрой (с 2004 г.).

Читал курсы высшей математики, математической физики, теории вероятностей. Автор учебных пособий по теоретической механике (1982), теории вероятностей (2005) и математической физике (2009).

Направления научных исследований: уравнения математической физики, математические модели аэро- и гидромеханики, уравнения кинетической теории газов, функциональный анализ, дифференциальные уравнения с частными производными, интегральные уравнения, организация и управление в системе образования.

Главный редактор журнала «International Journal of Mathematical Modelling» (Болгария).

Уход Андрей Николаевича – это тяжёлая потеря для науки и для редколлегии журнала. Он собирался приехать в Омск после десятилетий расставания с нашим городом. Увы, судьба распорядилась иначе...

Редакция журнала

Авторам

Предоставляемые данные и документы

Автор предоставляет в редакцию:

- рукопись статьи в формате $\text{\LaTeX}$ (см. требования к оформлению);
- список из трёх экспертов по тематике статьи, давших согласие написать рецензию на представленную работу¹;
- экспертное заключение о возможности открытого опубликования.

Лицензирование

Согласно ГК РФ ст. 1286 лицензионный договор с автором для публикации в периодических изданиях может быть заключён в устной форме. Сам факт получения рукописи статьи редколлегией журнала «Математические структуры и моделирование» является акцептом (принятием) лицензионного договора.

Все статьи в журнале «Математические структуры и моделирование» публикуются под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY). Текст лицензии находится по адресу <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>.

Требования к оформлению рукописи

К публикации принимаются рукописи объёмом не более 16 страниц.

Авторам необходимо предоставить следующую информацию на русском и английском языках:

- название статьи;
- список авторов с указанием
 - фамилии, имени и отчества,
 - учёного звания,
 - учёной степени,
 - должности,
 - места работы или учёбы,
 - действующего адреса электронной почты;
- аннотация (абстракт) объёмом от 100 до 250 слов;
- список ключевых слов.

Автор также указывает УДК (универсальный десятичный код) статьи. Его можно подобрать по тематике статьи в справочнике <http://msm.univer.omsk.su/udc/>.

Библиографические ссылки оформляются согласно ГОСТ 7.0.5–2008.

Рукопись статьи представляется в редакцию по электронной почте в двух форматах pdf и tex. Статья должна быть набрана с использованием макропакета $\text{\LaTeX}$ и стиля msmb.cls, предоставляемого редакцией <http://msm.univer.omsk.su/files/msmb.zip>. Рекомендуется установить компилятор $\text{\LaTeX}$, так как именно им пользуются в редакции.

Отклонения в оформлении рукописи от приведённых правил позволяют редколлегии принять решение о снятии статьи с публикации. Статья может быть отклонена по причинам несоответствия тематике журнала или в связи с низким уровнем качества научного исследования.

В статье запрещается переопределять стандартные команды и окружения.

Нумеруемые формулы необходимо выделять в отдельную строку.

Нумерация только арабскими цифрами в порядке возрастания с единицы. Нумеровать следует только те формулы, на которые в тексте имеются ссылки.

¹Необходимы полные данные экспертов (место работы, учёная степень, должность), с указанием способа связи с ними (e-mail, телефон). Редколлегия может обратиться к одному из экспертов из предложенного списка с просьбой написать рецензию или может назначить рецензента из собственного списка.

Запрещается использовать в формулах буквы русского алфавита. Если без них никак не обойтись, то следует использовать команду `\mbox{...}`.

Все рисунки и таблицы должны иметь подпись, оформленную с помощью команды `\caption{...}`.

Файлы с рисунками необходимо представить в формате PDF или EPS (использовать редакторы векторной графики типа InkScape, Adobe Illustrator или Corel Draw).

Используйте стандартные команды переключения на готический, каллиграфический и ажурный шрифты: `\mathfrak`, `\mathcal` и `\mathbb`.

Не допускается заканчивать статью рисунком или таблицей.

В списке литературы обязательно указание следующих данных: для книг — фамилии и инициалы авторов, название книги, место издания, издательство, год издания, количество страниц; для статей — фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год издания, том, номер (выпуск), страницы начала и конца статьи (для депонированных статей обязательно указать номер регистрации).

Кавычки в русском тексте («абвгд») должны быть угловыми, в английском — прямыми верхними кавычками ("abcdeг" или "abcdeг").

Обязательна расшифровка сокращений при первом вхождении термина. Например: ... искусственный интеллект (ИИ)...

Порядок рецензирования

Первичная экспертиза проводится главным редактором (заместителем главного редактора). При первичной экспертизе оценивается соответствие статьи тематике журнала, правилам оформления и требованиям, установленным редакцией журнала к научным публикациям.

Все статьи, поступившие в редакцию научного журнала «Математические структуры и моделирование», проходят через институт рецензирования.

Рецензент выбирается главным редактором журнала из числа членов редколлегии или ведущих специалистов по профилю данной работы.

Рецензенты уведомляются о том, что присланные им рукописи являются частной собственностью авторов и относятся к сведениям, не подлежащим разглашению. Рецензентам не разрешается делать копии статей для своих нужд.

Срок для написания рецензии устанавливается по согласованию с рецензентом.

Рецензия должна раскрывать актуальность представленного материала, степень научной новизны исследования, определять соответствие предлагаемого к публикации текста общему профилю издания и стиль изложения.

Рецензент выносит заключение о возможности опубликования статьи: «рекомендуется», «рекомендуется с учётом исправления замечаний, отмеченных рецензентом» или «не рекомендуется». В случае отрицательной рецензии редакция направляет автору мотивированный отказ, заверенный главным редактором или его заместителем.

В случае несогласия с мнением рецензента автор статьи имеет право предоставить аргументированный ответ в редакцию журнала. Статья может быть направлена на повторное рецензирование, либо на согласование в редакционную коллегию.

При наличии в рецензии рекомендаций по исправлению и доработке статьи автору направляется текст рецензии с предложением учесть их при подготовке нового варианта статьи или аргументированно (частично или полностью) их опровергнуть. Доработанная (переработанная) автором статья повторно направляется на рецензирование и рассматривается в общем порядке. В этом случае датой поступления в редакцию считается дата возвращения доработанной статьи.

После принятия редколлегией решения о допуске статьи к публикации автор информируется об этом и указываются сроки публикации.

Оригиналы рецензий хранятся в редакции в течение пяти лет.

Авторская этика

Авторы публикаций должны гарантировать, что в список авторов включены только лица, соответствующие критериям авторства (лица, внёсшие значительный вклад в работу), и что заслуживающие авторства исследователи не исключены из списка авторов.

Должны работать вместе с редакторами или издателями для скорейшего исправления своих работ в случае обнаружения в них ошибок или упущений после публикации.

Обязаны незамедлительно уведомлять редакцию в случае обнаружения ошибки в любой поданной ими на публикацию, принятой для публикации или уже опубликованной работе.

Не вправе копировать из других публикаций ссылки на работы, с которыми они сами не ознакомились; цитаты и ссылки на другие работы должны быть точными и оформленными в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Должны ссылаться максимально правильно и точно на имеющие отношение к публикации предыдущие работы как других исследователей, так и самих авторов, обращаясь, прежде всего к первоисточнику; дословное воспроизведение собственных работ и их перефразирование неприемлемы, они могут быть использованы лишь в качестве основы для новых выводов.

Необходимо указывать авторство данных, текста, рисунков и идей, которые автор получил из других источников — они не должны представляться, как принадлежащие автору публикации; прямые цитаты из работ других исследователей должны выделяться кавычками и соответствующей ссылкой.

Должны соблюдать нормы законодательства о защите авторских прав; материалы, защищённые авторским правом (например, таблицы, цифры или крупные цитаты), могут воспроизводиться только с разрешения их владельцев.

Памятка для перевода должностей, учёных степеней и званий на английский язык

Профессор = Professor

Доцент = Associate Professor

Старший преподаватель = Assistant Professor

Преподаватель = Instructor

Ассистент = Instructor

Аспирант = Postgraduate Student или Ph.D. Student

Соискатель = Ph.D. Doctoral Candidate

Магистрант = Master's Degree Student

Студент = Student

д.ф.-м.н. = Dr.Sc. (Phys.-Math.)

к.ф.-м.н. = Ph.D. (Phys.-Math.)

д.т.н. = Dr.Sc. (Eng.)

к.т.н. = Ph.D. (Eng.)

Инженер-программист = Software Engineer

Старший/младший научный сотрудник = Senior/Junior Scientist Researcher

Электронная почта для отправки статей

lavrov@omsu.ru — зам. главного редактора (ответственный за выпуск) Д.Н. Лавров.

Научный журнал

Математические структуры и моделирование

№3 (63)

Главный редактор

А.К. Гуц

Зам. глав. ред., выпускающий редактор

Д.Н. Лавров

Зам. глав. ред., технический редактор

Н.Ф. Богаченко

Перевод на английский язык в авторской редакции

Адрес научной редакции

644077, Омская обл., г. Омск, пр-т Мира, д. 55а,
Омский государственный университет

E-mail: guts@omsu.ru, lavrov@omsu.ru

Электронная версия журнала:

<http://msm.omsu.ru>

<http://msm.univer.omsk.su>



Подписано в печать 24.10.2022. Формат 60 × 84 1/8.

Усл. печ. л. 12,6. Тираж 25 экз. Заказ № 185.

Отпечатано на полиграфической базе издательства ОмГУ им. Ф.М. Достоевского
644077, Омская обл., г. Омск, пр-т Мира, д. 55а

ISSN 2222-8772



9 772222 877005

22063 >

