**ISSN 2311-2158**

# The Way of Science

## International scientific journal

**№ 10 (152), 2026**

Founder and publisher: Publishing House «Scientific survey»

The journal is founded in 2014 (March)

Volgograd, 2026

UDC 53:51+57+67.02+330+80+371+61
LBC 72

# The Way of Science
## International scientific journal, № 10 (152), 2026

The journal is founded in 2014 (March)
ISSN 2311-2158

The journal is issued 12 times a year

The journal is registered by Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technology and Mass Communications.

**Registration Certificate: ПИ № ФС 77 – 53970, 30 April 2013**

EDITORIAL STAFF:

**Head editor:** Teslina Olga Vladimirovna
**Executive editor:** Pankratova Elena Evgenievna

*Ezhkova Nina Sergeevna, Doctor of Pedagogic Sciences*
*Baratova Mokhidil Rakhimovna, Candidate of Biological Sciences*
*Adilchaev Rustem Tursynbaevich, Ph.D. in Economics*
*Uralov Bakhtiyor Rakhmatullayevich, Candidate of Engineering Sciences*
*Inyatov Almaz Reymbaevich, PhD of Economics*
*Abdurazakova Napisa Makhkamovna, Candidate of Economic Sciences*
*Shayusupova Nargiza Turgunovna, Candidate of Economic Sciences*
*Kirghizboyev Mukimjon, Doctor of Political Science, Professor*
*Shertaev Mukhametamin Mametjanovich, PhD*
*Mukhitdinov Ulugbek Bashrullaevich, PhD*
*Khodzhaeva Sabri Makhmudovna, Candidate of Medical Sciences*
*Butayev Chori Jumayevich, Candidate of Medical Sciences*
*Rikhsiev Ulugbek Shavkatovich, Candidate of Medical Sciences*
*Elieva Mekhriniso Fakhritdinovna, Phd*
*Sheraliev Kambarali Saidalievich, Candidate of Medical Sciences*
*Mamatkulov Zokhid Dzhankobilovich, Ph.D*
*Ibragimov Abdimalik Gapparovich, Doctor of Philosophy in Economics*
*Nazarbaev Orinbay, Candidate of Economic Sciences*
*Saidakbarov Khaidar Khozhimurodovich, Candidate of Economic Sciences*
*Umarova Zulaykho Tursunovna, Ph.D*
*Mukhitdinova Mavdjuda Imadovna, Candidate of Medical Sciences*
*Ikramova Surayyo Khakimovna, Candidate of Biological Sciences*
*Kholbutaeva Shakhnoza Abduvalievna, PhD*
*Karimova Zieda Kushbayevna, Candidate of Medical Sciences*
*Tulaboev Azamjon Qurbonovich, DSc*
*Rakhimgaziyev Umid Gazivayevich, PhD*
*Nasirov Tulkin Karimovich, Candidate of Medical Sciences*
*Khalilova Zukhra Telmanovna, Candidate of Medical Sciences*
*Hussein Ali Khudhair Bahari, Master*
*Karaboyeva Zilola Xurramovna, Doctor of Philosophy (PhD) in Medical Sciences*
*Adilgereyeva Madina Iskanderovna, Candidate of Medical Sciences*
*Valiyev Abduaziz Abdusamatovich, Candidate of Medical Sciences*
*Dzhumanov Bakhtiyor Abdurazakovich, Doctor of Medical Sciences*

Authors have responsibility for credibility of information set out in the articles.
Editorial opinion can be out of phase with opinion of the authors.

Address: Russia, Volgograd, ave. Metallurgov, 29
E-mail: sciway@mail.ru
Website: www.scienceway.ru

Founder and publisher: «Scientific survey» Ltd.

© Publishing House «Scientific survey», 2026

УДК 53:51+57+67.02+330+80+371+61
ББК 72

# Путь науки
## Международный научный журнал, № 10 (152), 2026

Журнал основан в 2014 г. (март)
ISSN 2311-2158

Журнал выходит 12 раз в год

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации**
**ПИ № ФС 77 – 53970 от 30 апреля 2013 г.**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:** Теслина Ольга Владимировна
**Ответственный редактор:** Панкратова Елена Евгеньевна

*Ежкова Нина Сергеевна, доктор педагогических наук*
*Баратова Мохидил Рахимовна, кандидат биологических наук*
*Адильчаев Рустем Турсынбаевич, кандидат экономических наук*
*Уралов Бахтиёр Рахматуллаевич, кандидат технических наук*
*Инятов Алмаз Реймбаевич, PhD экономических наук*
*Абдуразакова Написа Махкамовна, кандидат экономический наук*
*Шаюсупова Наргиза Тургуновна, кандидат экономический наук*
*Киргизбоев Мукимжон, доктор политических наук, профессор*
*Шертаев Мухаметамин Маметжанович, кандидат биологических наук*
*Мухитдинов Улугбек Башруллаевич, кандидат медицинских наук*
*Ходжаева Сабри Махмудовна, кандидат медицинских наук*
*Бутаев Чори Жумаевич, кандидат медицинских наук*
*Рихсиев Улугбек Шавкатович, кандидат медицинских наук*
*Элиева Мехринисо Фахритдиновна, Phd*
*Шералиев Камбарали Саидалиевич, кандидат медицинских наук*
*Маматкулов Зохид Джанкобилович, доктор философии*
*Ибрагимов Абдималик Гаппарович, кандидат экономических наук*
*Назарбаев Орынбай, кандидат экономических наук*
*Саидакбаров Хайдар Хожимуродович, кандидат экономических наук*
*Умарова Зулайхо Турсуновна, кандидат экономических наук*
*Мухитдинова Мавджуда Имадовна, кандидат медицинских наук*
*Икрамова Сурайё Хакимовна, кандидат биологических наук*
*Холбутаева Шахноза Абдувалиевна, доктор философии по экономическим наукам*
*Каримова Зиёда Кушбаевна, кандидат медицинских наук*
*Тулабоев Азамжон Курбонович, доктор технических наук*
*Рахимгазиев Умид Газиваевич, доктор философских наук*
*Насиров Тулкин Каримович, кандидат медицинских наук*
*Халилова Зухра Тельмановна, кандидат медицинских наук*
*Аль Шувайли Хуссейн Али Кудхир, магистр*
*Карабоева Зилола Хуррамовна, доктор философии (PhD) по медицинским наукам*
*Адильгереева Мадина Искандеровна, кандидат медицинских наук*
*Валиев Абдуазиз Абдусаматович, кандидат медицинских наук*
*Джуманов Бахтиёр Абдуразакович, доктор медицинских наук*

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

Адрес редакции: Россия, г. Волгоград, пр-кт Металлургов, д. 29
E-mail: sciway@mail.ru
www.scienceway.ru

Учредитель и издатель: ООО «Научное обозрение»

© Publishing House «Scientific survey», 2026

## CONTENTS

### Physical and mathematical sciences

*Aksenov V.V.*
ELECTRODYNAMIC FOUNDATIONS AND APPLICATIONS OF MAGNETIC FIELD RECONNECTION IN HYBRID ELECTRODYNAMIC EQUATIONS.....8

*Lysiuk D.R.*
A METHOD FOR CALCULATING THE CONSTANT π (PI) VIA THE TRANSFORMATION OF A 1/8 SEGMENT OF A UNIT CIRCLE (R=1) INTO A RIGHT TRIANGLE OF EQUAL AREA, AND THE EQUATION OF TRIANGLES FORMED BY A CIRCULAR ARC AND A TRIANGLE.....22

*Pinchukov V.I.*
ON AUXILIARY GRID ALGORITHM WITH REGULATION OF NUMERICAL SOLUTION IN WALL VICINITY.....35

### Biological sciences

*Sultonov D.Sh.*
APPLICATION OF PROBIOTICS AND ENZYMES IN MODERN DAIRY TECHNOLOGY.....41

### Technical sciences

*Smykova A.V., Korenkova G.V., Mityakina N.A.*
ARCHITECTURAL ADAPTATION OF TEMPLE BUILDINGS IN THE USSR: STRUCTURAL AND FUNCTIONAL-PLANNING TRANSFORMATIONS.....44

### Economic sciences

*Adzhibayev T.*
EFFICIENCY OF BACKWASHING PRODUCTION OIL, WATER AND URANIUM WELLS.....49

### Philological sciences

*Parsadanyan L.*
FEMINIST REPRESENTATIONS AND ISSUES OF NATIONAL IDENTITY IN MARGARET LAURENCE'S WORKS.....52

### Pedagogical sciences

*Alekseeva T.E.*
TO THE QUESTION OF SEX EDUCATION FOR ADOLESCENTS IN MODERN SOCIETY.....59

*Burtseva D.I., Popova T.Yu., Atakova I.E.*
DIGITAL HORIZONS IN ELEMENTARY GENERAL EDUCATION: IMPLEMENTATION OF AI TECHNOLOGIES AT THE MBEI "KREST-KHALDZHAISKAYA SECONDARY SCHOOL NAMED AFTER F.M. OKHLOPKOV".....61

*Fedorova L.V.*
EFFECTIVE METHODS AND TECHNIQUES FOR CORRECTIVE
AND DEVELOPMENTAL WORK WITH PUPILS WITH PSYCHOLOGICAL
AND SPEECH DEVELOPMENTAL DELAYS FROM PRACTICE AT MBEI NO. 21.....64

## Medical sciences

*Baibakov V.I.*
CONTROLLED PROLONGED HIBERNATION OF BIFIDOBACTERIA – A POSSIBLE WAY
TO PROMOTE THE DEVELOPMENT OF FECAL MICROBIOTA TRANSPLANTATION.....66

## СОДЕРЖАНИЕ

### Физико-математические науки

*Аксёнов В.В.*
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ГИБРИДНЫХ УРАВНЕНИЯХ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ.....8

*Лысюк Д.Р.*
СПОСОБ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОНСТАНТЫ π (Пи) ЧЕРЕЗ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ 1/8 (Октанта) ЕДИНИЧНОГО КРУГА (R=1) В ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ТРЕУГОЛЬНИК РАВНОЙ ПЛОЩАДИ, И СРАВНЕНИИ ТРЕУГОЛЬНИКОВ, ОБРАЗОВАННЫХ ДУГОЙ КРУГА И ПОЛУЧЕННЫМ ТРЕУГОЛЬНИКОМ.....22

*Пинчуков В.И.*
ОБ АЛГОРИТМЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ СЕТКИ И РЕГУЛИРОВАНИЕМ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТИ СТЕНКИ.....35

### Биологические науки

*Султонов Д.Ш.*
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОБИОТИКОВ И ФЕРМЕНТОВ В СОВРЕМЕННОЙ МОЛОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ.....41

### Технические науки

*Смыкова А.В., Коренькова Г.В., Митякина Н.А.*
АРХИТЕКТУРНАЯ АДАПТАЦИЯ ХРАМОВЫХ ЗДАНИЙ В СССР: КОНСТРУКТИВНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ.....44

### Экономические науки

*Аджибаев Т.*
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКИ ДОБЫВАЮЩИХ НЕФТЯНЫХ, ВОДЯНЫХ И УРАНОВЫХ СКВАЖИН.....49

### Филологические науки

*Парсаданян Л.*
ФЕМИНИСТИЧЕСКИЕ РЕПРЕЗЕНТАЦИИ И ВОПРОСЫ НАЦИОНАЛЬНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ В ПРОИЗВЕДЕНИЯХ МАРГАРЕТ ЛОУРЕНС.....52

### Педагогические науки

*Алексеева Т.Е.*
К ВОПРОСУ О ПОЛОВОМ ВОСПИТАНИИ ПОДРОСТКОВ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ.....59

*Бурцева Д.И., Попова Т.Ю., Атакова И.Е.*
ЦИФРОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ НАЧАЛЬНОГО ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ: ВНЕДРЕНИЕ ИИ-ТЕХНОЛОГИЙ В МБОУ "КРЕСТ-ХАЛЬДЖАЙСКАЯ СОШ ИМ. Ф.М. ОХЛОПКОВА".....61

*Федорова Л.В.*
ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ И ПРИЁМЫ КОРРЕКЦИОННО-РАЗВИВАЮЩЕЙ РАБОТЫ С ОБУЧАЮЩИМИСЯ С ЗАДЕРЖКОЙ ПСИХОРЕЧЕВОГО РАЗВИТИЯ ИЗ ПРАКТИКИ В МОБУ СОШ №21.....64

## Медицинские науки

*Байбаков В.И.*
УПРАВЛЯЕМАЯ ДЛИТЕЛЬНАЯ ГИБЕРНАЦИЯ БИФИДОБАКТЕРИЙ – ВОЗМОЖНЫЙ ПУТЬ АКТИВИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ ТРАНСПЛАНТАЦИИ ФЕКАЛЬНОЙ МИКРОБИОТЫ.....66

## Physical and mathematical sciences
## Физико-математические науки

**УДК 550.37**

# ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ГИБРИДНЫХ УРАВНЕНИЯХ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ*

**В.В. Аксёнов,** доктор физико-математических наук, профессор, гл. научный сотрудник
Институт вычислительной математики и математической геофизики
Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск), Россия
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6405-7821
E-mail: aksenov@omzg.sscc.ru

***Аннотация.*** *В статье доказывается ряд теорем, обосновывающих введение в электродинамику несиловых электромагнитных полей. Вводится новая классификация уравнений электродинамики, названных гибридными уравнениями электродинамики. В них учитывается наряду с силовой составляющей еще и несиловые электромагнитные поля. При исключении несиловых электромагнитных полей гибридные уравнения автоматически переходят в известную классификацию силовых уравнений. Появление несиловых электромагнитных полей в электродинамике позволило объяснить существование несиловой части магнитного поля в атмосфере Земли за счет возникновения пересоединения в магнитном поле, объяснить «срыв» эксперимента в токамаке за счет взаимной генерации внешнего силового магнитного поля с несиловым внутри тороидальной катушки токамака, объяснить «размораживание» частиц в набегающем на магнитосферу солнечном ветре за счет исчезновения силы Лоренца в набегающем магнитном поле. Эффект пересоединения в магнитном поле возникает при контакте солнечного ветра с магнитосферой Земли.*

***Ключевые слова:*** *силовые и несиловые электромагнитные поля, пересоединение электромагнитных полей, гибридные уравнения электродинамики, приложения.*

**Введение**

В отличие от магнитогидродинамической теории магнитного пересоединения [5], есть возможность разработать электродинамическую теорию пересоединения по аналогии с электродинамикой Ампера, Фарадея, Максвелла, Гаусса, Лармора, Лоренца.

Для этого достаточно ввести в электродинамику вслед за работами Чандрасекхара [7] «электромагнитные поля, лишенные силы». Впоследствии эти электромагнитные поля названы полоидальными и тороидальными. Автором были изучены их силовые и несиловые свойства. Оказалось, что полоидальное магнитное и тороидальное электрическое поля — силовые. В магнитном поле сохраняется сила Лоренца, в тороидальном электрическом сохраняется э. д. с. индукции. В то время как тороидальное магнитное и полоидальное электрическое являются несиловыми полями. В тороидальном магнитном поле отсутствует сила Лоренца, в полоидальном электрическом отсутствует э. д. с. индукции.

Чтобы записать совокупность уравнений с учетом полоидальных и тороидальных магнитных полей и аналогичных электрических, необходимо доказать ряд теорем, обосновывающих появление названных электромагнитных полей, установить их связь с ранее названными полями. С другой стороны, с 1946 и 1949 гг. известны работы Джованелли и Хойла [8, 9], в которых открыто новое на тот момент свойство магнитных полей, а именно их пересоединение, то есть резкая смена топологии этих полей вплоть до нарушения связности магнитных силовых линий в особых точках, названных впоследствии особыми **X**-точками, сепаратрисами и токовыми слоями. Обзор таких работ приведен в книге [5]. Их более 1200 на 2020 г. К настоящему времени число научных работ по магнитогидродинамической теории пересоединения значительно выросло. Средой для пересоединения магнитных полей в перечисленных в [5] работах является плазма и ее поведение в перечисленных особых точках.

Представляет интерес найти электродинамические причины пересоединения магнитных и электрических полей безотносительно к свойствам среды, в которой эти поля распространяются. Для этого оказалось необходимым сформулировать и доказать ряд теорем, обосновывающих запись систем гибридных уравнений электродинамики, совмещающих в себе поведение силовых и несиловых электромагнитных полей, в которых была бы зафиксирована возможность пересоединения магнитных силовых в несиловые с потерей силы Лоренца и полным отсутствием в них силовых линий в связи с исчезновением силы Лоренца. Аналогично и с исчезновением э. д. с. индукции в полоидальных электрических полях.

© Аксёнов В.В. / Aksenov V.V., 2026

**1. Теоремы, обосновывающие появление гибридных уравнений электродинамики**

Истоки названных теорем относятся к двум работам автора в журналах Дифференциальные уравнения [1] и Физика и Астрономия [2], в которых поставлены и решены часть проблем, возникающих при попытке записать систему гибридных уравнений электродинамики. Исходным соотношением, согласно [1, 2], являются следующие:

$$\nabla \cdot \boldsymbol{H} = 0, \quad \boldsymbol{H} = \nabla \times \boldsymbol{A}, \quad \boldsymbol{A} = (Q\boldsymbol{r}) + \nabla \times (Q\boldsymbol{r}), \tag{1}$$

$\boldsymbol{H}_T = \nabla \times (Q\boldsymbol{r})$ – двухкомпонентное тороидальное магнитное поле,

$\boldsymbol{H}_P = \nabla \times \nabla \times (Q\boldsymbol{r})$ – трехкомпонентное полоидальное магнитное поле,

$\boldsymbol{E}_T = -i\omega\mu\nabla \times (Q\boldsymbol{r})$ – двухкомпонентное тороидальное электрическое поле,

$\boldsymbol{E}_P = \frac{1}{\sigma'}\nabla\nabla \cdot (Q\boldsymbol{r})$ – трехкомпонентное полоидальное электрическое поле.

Здесь $\sigma'$ – удельная проводимость области, в которой определено электрическое поле $\boldsymbol{E}_P$.

Соответствие размерностей во введенных выше полях объясняется тем, что дифференциальные операторы в них заданы в нештрихованных координатах вне источника, тогда как интегралы по источникам заданы в штрихованных координатах и входят в вышеназванные определения в виде размерных констант, которые не изменяются при дифференцировании по нештрихованным координатам определений (1).

Важнейшим свойством введенных выше полей является возможность их воспроизведения с помощью одной скалярной функции.

**Теорема 1**. Тороидальные и полоидальные электромагнитные поля воспроизводятся с помощью одной скалярной функции.

Доказательство.

Скалярная функция $Q$ определяется с помощью следующих обратных операторов, записанных исходя из определений (1).

$$Q = -D^{-1}(\boldsymbol{r} \cdot \boldsymbol{H}_P) = -D^{-1}(\boldsymbol{r} \cdot \nabla \times \boldsymbol{H}_T). \tag{2}$$

Здесь оператор $D^{-1}$, подлежащий определению, есть обратный оператор к оператору $D$, Принимая во внимание тороидальное разложение для $\boldsymbol{A}$ из (1), можно показать, что если в формуле для $\boldsymbol{A}$ использованы две произвольные скалярные функции вида $\boldsymbol{A} = (T \cdot \boldsymbol{r}) + \nabla \times (Q \cdot \boldsymbol{r})$, то поскольку векторное магнитное поле $\boldsymbol{H}_T$ не содержит нормальную компоненту к поверхности шара $S$ и не может быть однозначно определено согласно теореме Гельмгольца, то в формуле для тороидального магнитного поля $H_T$ необходимо воспользоваться соотношением, однозначно вытекающем из определения (1) $\nabla \times \boldsymbol{H}_T = \boldsymbol{H}_P$. Тогда прямые операторы $-DQ = (\boldsymbol{r} \cdot \boldsymbol{H}_P)$ и $-DT = (\boldsymbol{r} \cdot \nabla \times \boldsymbol{H}_T)$ будут иметь следующие обратные: $-D^{-1}(\boldsymbol{r} \cdot \boldsymbol{H}_P)$ и $-D^{-1}(\boldsymbol{r} \cdot \nabla \times \boldsymbol{H}_T) = -D^{-1}(\boldsymbol{r} \cdot \boldsymbol{H}_P)$. Это означает, что $T = Q$. Поэтому в выражении для $\boldsymbol{A}$ достаточно использовать одну произвольную скалярную функцию, в данном случае функцию $Q$. В этом случае компоненты электромагнитного поля можно выразить через одну скалярную функцию или с помощью трех компонент векторного потенциала в виде:

$$\begin{aligned}
&H_{P\theta} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\frac{\partial}{\partial \theta}(Qr) = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}rA_\varphi, \quad H_{P\varphi} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial \varphi}(Qr) = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}rA_\theta, \\
&H_{\mathrm{Pr}} = -\frac{1}{r^2\sin\theta}\left(\frac{\partial}{\partial \theta}\sin\theta\frac{\partial(Qr)}{\partial \theta} + \frac{\partial}{\partial \varphi}\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial(Qr)}{\partial \varphi}\right) = -\frac{1}{r\sin\theta}\left(-\frac{\partial}{\partial \theta}\frac{1}{\sin\theta}A_\varphi + \frac{\partial A_\theta}{\partial \varphi}\right), \\
&H_{T\theta} = \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial \varphi}(Qr) = \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial \varphi}A_r, \quad H_{T\varphi} = -\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial \theta}(Qr) = -\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial \theta}A_r, \\
&E_{T\theta} = -i\omega\mu\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial \varphi}(Qr) = -i\omega\mu A_\theta, \quad E_{T\varphi} = -i\omega\mu\left(-\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial \theta}(Qr)\right) = -i\omega\mu A_\varphi.
\end{aligned} \tag{3}$$

$$E_{P\theta} = \frac{1}{\sigma'}\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial\theta}\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}r^2(Qr) = \frac{1}{\sigma'}\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial\theta}\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}r^2A_r,$$

$$E_{P\varphi} = \frac{1}{\sigma'}\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\varphi}\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}r^2(Qr) = \frac{1}{\sigma'}\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\varphi}\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}r^2A_r,$$

$$E_{\mathrm{Pr}} = \frac{1}{\sigma'}\frac{\partial}{\partial r}\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}r^2(Qr) = \frac{1}{\sigma'}\frac{\partial}{\partial r}\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}r^2A_r.$$

Теорема доказана.

**Теорема 2**. Вихревое векторное поле $\boldsymbol{H}$ в сферической области V (в шаре с поверхностью S и радиусом R) однозначно восстанавливается (а также разделяется на $\boldsymbol{H}_P$ и $\boldsymbol{H}_T$ ) выражением:

$$\boldsymbol{H} = \boldsymbol{H}_T + \boldsymbol{H}_P = \nabla\times(Q\boldsymbol{r}) + \nabla\times\nabla\times(Q\boldsymbol{r}), \tag{4}$$

Если известна нормальная составляющая $\boldsymbol{H}_N$ на $S$, а функция $Q \in C^\infty$, среднее которой $\langle Q\rangle = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} Q\sin\theta d\theta d\varphi = 0$ на $S$, а также $\boldsymbol{H}, \boldsymbol{H}_P, \boldsymbol{H}_T \neq 0$ и $\nabla\times\boldsymbol{H}_T = \boldsymbol{H}_P$ всюду.

Доказательство.

Если векторное поле $\boldsymbol{H}$ отвечает (4), то для доказательства единственности разложения (4), необходимо выразить функцию $Q$ через исходное векторное поле $\boldsymbol{H}_P$ или $\nabla\times\boldsymbol{H}_T$. Например,

$$(\boldsymbol{r}\cdot\boldsymbol{H}_P) = \boldsymbol{r}\cdot\nabla\times\nabla\times(Q\boldsymbol{r}) = \boldsymbol{r}\cdot\{\nabla\nabla\cdot(Q\boldsymbol{r}) - \nabla^2(Q\boldsymbol{r})\} = \boldsymbol{r}\cdot\{\nabla[\boldsymbol{r}\cdot\nabla Q + 3Q] - 2\nabla Q - \boldsymbol{r}\nabla^2 Q\} =$$

$$= -r^2\nabla^2 Q + \boldsymbol{r}\cdot\nabla(\boldsymbol{r}\cdot\nabla Q) + \boldsymbol{r}\cdot\nabla Q = -r^2\nabla^2 Q + \frac{\partial}{\partial r}(r^2\frac{\partial Q}{\partial r}) = -DQ, \tag{5}$$

$$(\boldsymbol{r}\cdot\nabla\times\boldsymbol{H}_T) = \boldsymbol{r}\cdot\nabla\times\nabla\times(Q\boldsymbol{r}) = -DQ.$$

Здесь $D$ – прямой оператор (оператор Бельтрами) определяется из соотношений (4), а именно:

$$D = \frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\sin\theta\frac{\partial}{\partial\theta} + \frac{1}{\sin^2\theta}\frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}, \tag{6}$$

и является частью оператора Лапласа без радиальных производных.

Из равенства (5) следует, что:

$$Q = -D^{-1}(\boldsymbol{r}\cdot\boldsymbol{H}_2) = -D^{-1}(\boldsymbol{r}\cdot\nabla\times\boldsymbol{H}_1), \tag{7}$$

где $D^{-1}$ – обратный оператор к оператору $D$, подлежащий определению. Чтобы найти функцию $Q$, необходимо определить прямой $D$ и обратный $D^{-1}$ операторы. Обратный оператор $D^{-1}$ определяется следующим образом. Пусть $\psi(r,\theta,\varphi)$ и $f(r,\theta,\varphi)$ – произвольные функции, связанные соотношением:

$$D\psi(r,\theta,\varphi) = f(r,\theta,\varphi), \tag{8}$$

При этом функции $\psi(r,\theta,\varphi)$ и $f(r,\theta,\varphi) \in C^\infty$ – , среднее у которых на $S$ равно нулю, т.е. $\langle\psi\rangle = 0,\ \langle f\rangle = 0.$ Обозначим

$$S_n(\theta,\varphi) = \sum_{m=0}^{n} A_n^m P_n^m(\cos\theta)e^{im\varphi}, \tag{9}$$

$P_n^m(\cos\theta)$ – сферические функции, $A_n^m$ – комплексные постоянные, $S_n(\theta,\varphi) \in C^\infty$.

Далее представим вспомогательные функции $\psi, f$ их стандартными разложениями по сферическим функциям:

$$\psi = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(r) S_n(\theta,\varphi) = \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=0}^{n} \psi_n(r) A_n^m P_n^m(\cos\theta) e^{im\varphi}; \quad f = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(r) \bar{S}_n(\theta,\varphi). \qquad (10)$$

Суммирование по $n$ начинается с единицы, свободный член отсутствует в связи с наложенным условием нулевых средних для функций $Q, \psi, f$ на сфере $S$. При этом функции $\psi_n(r)$ и $f_n(r)$ для $r < R$ есть $r^n$, а для $r > R$ есть $\frac{1}{r^{n+1}}$.

Применим прямой оператор $D$ к функции $S_n(\theta,\varphi)$, воспользовавшись результатом (5):

$$DS_n(\theta,\varphi) = -n(n+1) S_n(\theta,\varphi). \qquad (11)$$

Действительно, с учетом (4) и условий на функции $\psi_n(r)$ и $f_n(r)$ можно записать:

$$-r^2\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} r^n S_n(\theta,\varphi) + \frac{2}{r}\frac{\partial}{\partial r} r^n S_n(\theta,\varphi)\right) = D r^n S_n(\theta,\varphi); \text{ отсюда } -n(n+1) S_n(\theta,\varphi) = DS_n(\theta,\varphi),$$

$$-r^2\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2}\frac{1}{r^{n+1}} S_n(\theta,\varphi) + \frac{2}{r}\frac{\partial}{\partial r}\frac{1}{r^{n+1}} S_n(\theta,\varphi)\right) = D\frac{1}{r^{n+1}} S_n(\theta,\varphi); \quad -n(n+1) S_n(\theta,\varphi) = DS_n(\theta,\varphi).$$

Такая запись представляется наиболее удобной, так как в операторе $D$ функции дифференцируются только по угловым координатам, согласно (6). Теперь применим к (8) оператор $D$, получим:

$$D\psi = -\sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(r) n(n+1) S_n(\theta,\varphi) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(r) \bar{S}_n(\theta,\varphi). \qquad (12)$$

Функции $S_n(\theta,\varphi)$ и $\bar{S}_n(\theta,\varphi)$ отличаются только комплексными коэффициентами. Приравняем общие члены в (12), учитывая абсолютную и равномерную сходимость рядов разложений функций $\psi, f$ по сферическим функциям и разделим правую и левую части на множитель $n(n+1)$. В результате получим:

$$\psi_n(r) S_n(\theta,\varphi) = -f_n(r)\frac{\bar{S}_n(\theta,\varphi)}{n(n+1)}. \qquad (13)$$

Просуммировав все гармоники в (13), будем иметь:

$$\psi = -D^{-1} f = -\sum_{n=1}^{\infty} f_n(r)\frac{\bar{S}_n(\theta,\varphi)}{n(n+1)}. \qquad (14)$$

Формула (14) – есть определение обратного оператора $D^{-1}$. Обратный оператор в (14), с нашей точки зрения, является более конструктивным для данной задачи, чем разработанный ранее интегральный обратный оператор для оператора Бельтрами, содержащий функцию Грина. Применим обратный оператор:

$$Q = -\sum_{n=1}^{\infty} r H_{2rn}(r)\frac{\tilde{S}_n(\theta,\varphi)}{n(n+1)} = -\sum_{n=1}^{\infty} r(\nabla\times \boldsymbol{H}_1)_{rn}(r)\frac{S'_n(\theta,\varphi)}{n(n+1)}. \qquad (15)$$

Если учесть, что при $r = R$ имеем:

$$H_{Prn}(R) = H_{Nn}(R), \; H_N(\boldsymbol{r}) = \sum_{n=1}^{\infty} H_{Nn}(R) S''_n(\theta,\varphi), \; \nabla\times\boldsymbol{H}_T = \nabla\times\nabla\times(Q\boldsymbol{r}) = \boldsymbol{H}_P, \qquad (16)$$

то $$Q = -\sum_{n=1}^{\infty} RH_{Nn}(R)\frac{\tilde{S}_n(\theta,\varphi)}{n(n+1)}, \quad (17)$$

где $R$ – радиус шара.

Функция $Q$ определяется однозначно и позволяет по отдельности вычислить тороидальное вихревое магнитное поле $\boldsymbol{H}_T$ и вихревое полоидальное магнитное поле $\boldsymbol{H}_P$ , согласно (4).

Теорема доказана.

Равенство (17) позволяет вычислить неизвестные комплексные постоянные только по информации, содержащейся на сфере $S$, что точно соответствует теореме Гельмгольца и теореме единственности представления соленоидального векторного поля $\boldsymbol{H}$ разложением (4).

Важным вопросом в физике магнитных полей является условие существования тороидальных и полоидальных магнитных полей. На этот счет важное место занимают теоремы существования названных магнитных полей.

**Теорема 3**. Безвихревое векторное поле $\nabla\times\boldsymbol{H}=0$, с условием $\nabla\cdot\boldsymbol{H}=\rho$, при $\rho=const$ не допускает генерации векторного поля $\boldsymbol{H}_T=\nabla\times(Q\boldsymbol{r})$.

Действительно, спиральность $\boldsymbol{H}\cdot\nabla\times\boldsymbol{H}$ в безвихревом векторном поле $\nabla\times\boldsymbol{H}=0$ равна нулю, тогда как спиральность векторного поля $\boldsymbol{H}_T$ нулю не равна по определению: $\boldsymbol{H}_T\cdot\nabla\times\boldsymbol{H}_T=\boldsymbol{H}_T\cdot\boldsymbol{H}_P\neq 0.$ Отсутствие совпадения спиральностей исключает взаимную генерацию векторных полей $\boldsymbol{H}_T$ и $\boldsymbol{H}_P$ [4].

Теорема доказана.

**Теорема 4.** В соленоидальном векторном поле $\nabla\times\boldsymbol{H}=\boldsymbol{P};\ \nabla\cdot\boldsymbol{H}=0$ ($\boldsymbol{P}$ – векторное поле) векторное поле $\boldsymbol{H}_T=\nabla\times(Q\boldsymbol{r})$ может быть сгенерировано.

Доказательство следует из того, что спиральности векторных полей $\boldsymbol{H}$ и $\boldsymbol{H}_T$ не равны нулю: $\boldsymbol{H}\cdot\nabla\times\boldsymbol{H}\neq 0$ из-за $\nabla\times\boldsymbol{H}=\boldsymbol{P}$, в то же время $\boldsymbol{H}_T\cdot\nabla\times\boldsymbol{H}_T\neq 0$ из-за $\nabla\times\boldsymbol{H}_T=\boldsymbol{H}_P.$ Наличие спиральностей в обеих векторных полях способствует их взаимной генерации за счет соотношений

$$\nabla\times\boldsymbol{H}_T=\boldsymbol{H}_P,\ \nabla\times\boldsymbol{H}_P=\nabla\times\nabla\times\nabla\times(Q\boldsymbol{r})=-\nabla\times(\Delta Q\boldsymbol{r})=\chi\nabla\times(Q\boldsymbol{r})=\chi\boldsymbol{H}_T, \quad (18)$$

где $\Delta Q=-\chi Q,\ \ \chi-const.$

Теорема доказана.

**Теорема 5.** В электродинамике тороидальных и полоидальных электромагнитных полей существуют силовые в смысле силы Лоренца и несиловые в смысле э.д.с. индукции Фарадея электромагнитные поля при $\boldsymbol{H}_P,\boldsymbol{E}_T,\boldsymbol{H}_T,\boldsymbol{E}_P\neq 0.$

Действительно. Сила Лоренца для полоидального силового магнитного поля есть:

$$\boldsymbol{F}_L=[\sigma\boldsymbol{E}_T\times\mu\boldsymbol{H}_P]\neq 0,\quad э.д.с.=\int_S(\boldsymbol{E}_T\cdot\boldsymbol{dl})=\int_W(\nabla\times\boldsymbol{E}_T\cdot\boldsymbol{ds})=-\mu\int_W(\frac{\partial\boldsymbol{H}_P}{\partial t}\cdot\boldsymbol{ds})\neq 0. \quad (19)$$

Сила Лоренца и э.д.с. индукции для тороидальных магнитных и полоидальных электрических полей тождественно равна нулю:

$$\bar{\boldsymbol{F}}_L=[\chi\boldsymbol{H}_T\times\mu\boldsymbol{H}_T]\equiv 0,\quad э.д.с.=\int_S(\boldsymbol{E}_P\cdot\boldsymbol{dl})=\int_W(\nabla\times\boldsymbol{E}_P\cdot\boldsymbol{ds})\equiv 0. \quad (20)$$

Таким образом, силовыми полями являются $\boldsymbol{H}_P$ и $\boldsymbol{E}_T$ электромагнитные поля. Несиловыми являются $\boldsymbol{H}_T$ и $\boldsymbol{E}_P$, они то, как раз, и являются генераторами и следствиями пересоединения в магнитных и электрических полях. В первой формуле (20) первое выражение равно нулю из-за совпадающего направления сомножителей в векторном произведении. Во втором выражении полоидальное электрическое поле есть градиент дивергенции, ротор которого всюду равен нулю. Поэтому эти поля считаются несиловыми.

Теорема доказана.

Силовые и несиловые электромагнитные поля играют важнейшую роль при исследовании явления пересоединения электромагнитных полей, а также при формулировке гибридных уравнений, которые будут записаны ниже по тексту.

Самым, пожалуй, интересным свойством тороидальных и полоидальных магнитных полей является их взаимная генерация в проводящих средах.

**Теорема 6.** Взаимодействие тороидальных и полоидальных магнитных полей при определенных условиях приводит их к взаимной генерации.

Доказательство.

По определению тороидальных и полоидальных полей вихри этих полей, согласно (18), принимают следующий вид:

$$\nabla\times\boldsymbol{H}_T=\boldsymbol{H}_P,\quad \nabla\times\boldsymbol{H}_P=\chi\boldsymbol{H}_T. \tag{21}$$

При определенных значениях напряженности полоидального и тороидального магнитных полей, а также при не нулевом значении константы $\chi$ эти поля взаимно генерируют друг друга (эффект динамо).

Теорема доказана.

В семидесятых годах прошлого века в научной литературе подверглась острой дискуссии так называемая проблема $E_Z$, а именно наличие вертикальной компоненты электрического поля коротко-периодических вариаций земного магнетизма. Обсуждалась проблема – какова природа

$E_Z$ индукционная или потенциальная.

В определении (1) индукционная составляющая $E_{PZ}$ исключена на основании следующей теоремы.

**Теорема 7.** Индукционное слагаемое $-i\omega\mu(Qr)$ в полоидальном электрическом поле $E_{PZ}=-i\omega\mu(Qr)+\frac{1}{\sigma'}\nabla\nabla\cdot(Qr)$ компенсируется потенциальным слагаемым $\frac{1}{\sigma'}\nabla\nabla\cdot(Qr)$, если $(Qr)\neq 0.$

Доказательство.

Общая формула для электрического поля имеет вид:

$$\boldsymbol{E}=-i\omega\mu(Q\boldsymbol{r})+i\omega\mu\nabla\times(Q\boldsymbol{r})+\frac{1}{\sigma'}\nabla\nabla\cdot(Q\boldsymbol{r})+\frac{1}{\sigma'}\nabla\nabla\cdot\nabla\times(Q\boldsymbol{r}). \tag{21}$$

В (21) последнее слагаемое равно нулю, так как дивергенция ротора равна нулю в связи с перестановочностью оператора $\nabla$. Поэтому можно записать:

$$\boldsymbol{E}_T=-i\omega\mu\nabla\times(Q\boldsymbol{r}),\quad \boldsymbol{E}_P=-i\omega\mu(Q\boldsymbol{r})+\frac{1}{\sigma'}\nabla\nabla\cdot(Q\boldsymbol{r}). \tag{22}$$

Разобьем пространство на две части относительно регулярной границы $S$. Внутреннюю часть представим функцией $Q^i(r,\theta,\varphi,t)$ и ее разложением:

$$Q^i(r,\theta,\varphi,t)=\sum_{n=1}^{\infty}K_{n+1/2}(ж\frac{r}{R})S_n(\theta,\varphi). \tag{23}$$

Здесь $K_{n+1/2}(ж\frac{r}{R})$ присоединенная функция Бесселя полуцелого индекса, $ж^2=i\omega\mu\sigma R^2-\varepsilon\omega^2\mu R^2$, $S_n(\theta,\varphi)=\sum_{m=0}^{n}A_n^mP_n^m(\cos\theta)e^{im\varphi}$, $S_n(\theta,\varphi)\in C^{\infty}$, $R$ – радиус области, отделенной регулярной границей $S$, $r$ – текущий радиус.

Внешнюю часть представим функцией $Q^e(r,\theta,\varphi,t)$. Ее разложение есть:

$$Q^e(r,\theta,\varphi,t)=\sum_{n=1}^{\infty}I_{n+1/2}(ж\frac{r}{R})S_n(\theta,\varphi). \tag{24}$$

Где $B_n^m$ – комплексные постоянные, входящие в $S_n(\theta,\varphi), P_n^m(\cos\theta)$ – сферические функции из $S_n(\theta,\varphi)$. Множитель $e^{i\omega t}$ в правой и левой частях (23) и (24) опущен. Аргументы Бесселевых функций отделены от нуля и бесконечности.

Для доказательства потребуются первые и вторые производные Бесселевых функций. В целях экономии места проведем доказательство только для функции $Q^i(r,\theta,\varphi,t)$. Сложением результатов для внутренней и внешней функций можно получить окончательный результат. Первые и вторые производные функции $Q^i(r,\theta,\varphi,t)$ по координате $\boldsymbol{r}$ есть:

$$\frac{\partial Q^i}{\partial r}=\sum_{n=1}^{\infty}S_n(\theta,\varphi)K'_{n+1/2}(\frac{\text{Ж}r}{R})=\sum_{n=1}^{\infty}S_n(\theta,\varphi)\left[-\frac{\text{Ж}}{R}K_{n+1/2}(\frac{\text{Ж}r}{R})-\frac{n+1/2}{r}K_{n+1/2}(\frac{\text{Ж}r}{R})\right],$$

$$\frac{\partial^2 Q^i}{\partial r^2}=\sum_{n=1}^{\infty}S_n(\theta,\varphi)K''_{n+1/2}(\frac{\text{Ж}r}{R})=\sum_{n=1}^{\infty}S_n(\theta,\varphi)\left[\frac{(n+1/2)(n+3/2)}{r^2}+\frac{\text{Ж}^2}{R^2}K_{n+1/2}(\frac{\text{Ж}r}{R})+\frac{\text{Ж}}{rR}K_{n+1/2}(\frac{\text{Ж}r}{R})\right].$$

Преобразуем радиальную компоненту полоидального электрического поля.

$$E^i_{\text{Pr}}=-i\omega\mu Q^i r+\frac{1}{\sigma'}\frac{\partial}{\partial\theta}\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}r^2Q^i r=\frac{1}{\sigma'}\left[-\bar{\text{Ж}}^2Qr+r\frac{\partial^2Q^i}{\partial r^2}+\frac{\partial Q^i}{\partial r}\right]. \tag{25}$$

Теперь вычислим радиальную компоненту $E^i_{\text{Pr}}$:

$$E^i_{\text{Pr}}=\frac{1}{\sigma'}\sum_{n=1}^{\infty}S_n(\theta,\varphi)\left[\begin{array}{l}-\bar{\text{Ж}}^2rK_{n+1/2}(\frac{\text{Ж}r}{R})+\left(\frac{(n+1/2)(n+3/2)}{r^2}+\frac{\text{Ж}^2}{R^2}\right)K_{n+1/2}(\frac{\text{Ж}r}{R})+\frac{\text{Ж}}{R}K_{n+1/2}(\frac{\text{Ж}r}{R})-\\-\frac{4\text{Ж}}{R}K_{n-1/2}(\frac{\text{Ж}r}{R})-\frac{4(n+1/2)}{r}K_{n+1/2}(\frac{\text{Ж}r}{R}).\end{array}\right] \tag{26}$$

В последнем выражении необходимо привести подобные члены с учетом того, что $\text{Ж}^2=\bar{\text{Ж}}^2R^2$. В результате получим:

$$E^i_{\text{Pr}}=\frac{1}{\sigma'}\sum_{n=1}^{\infty}S_n(\theta,\varphi)\left[-\bar{\text{Ж}}^2rK_{n+1/2}(\frac{\text{Ж}r}{R})+\bar{\text{Ж}}^2rK_{n+1/2}(\frac{\text{Ж}r}{R})+\left(\frac{n(n-2)-5/4}{r}\right)K_{n+1/2}(\frac{\text{Ж}r}{R})-\frac{3\text{Ж}}{R}K_{n-1/2}(\frac{\text{Ж}r}{R})\right] \tag{27}$$

Нетрудно заметить, что в (27) индукционные слагаемые исчезают. Остается только потенциальная часть. Аналогичный результат достигается и для $E^e_{\text{Pr}}$. Поэтому тороидальные и полоидальные электрические поля для $t>0$ можно определить следующим образом:

$$E_T=-i\omega\mu\nabla\times(Qr),\quad E_P=\frac{1}{\sigma'}\nabla\nabla\cdot(Qr). \tag{28}$$

$E_{PZ}$ – потенциальна согласно (28). Это соответствует определению (1).

Теорема доказана.

Фундаментальной проблемой для электродинамики остается состояние калибровок Кулона и Лоренца в векторном потенциале при его тороидальном ортогональном разложении в (1). Следующая теорема дает ответ на этот вопрос.

**Теорема 8.** Калибровочные условия Кулона $\nabla\cdot\boldsymbol{A}=0$ или Лоренца $\nabla\cdot\boldsymbol{A}=\sigma\bar{\varphi}$ для вспомогательного векторного поля $\boldsymbol{A}$ однозначно выполняются, если

$$Q(r,\theta,\varphi)=Q(\theta,\varphi)/r^3. \tag{29}$$

Действительно, из формулы (1) следует:

$$\boldsymbol{A} = (Q\boldsymbol{r}) + \nabla \times (Q\boldsymbol{r}) + \nabla \bar{\varphi}\,. \tag{30}$$

Вычислим дивергенцию от векторного поля (30):

$$\nabla \cdot \boldsymbol{A} = \nabla \cdot (Q\boldsymbol{r}) + \nabla \cdot \nabla \times (Q\boldsymbol{r}) + \nabla \cdot \nabla \bar{\varphi}\,. \tag{31}$$

В (31) второе слагаемое равно нулю по определению для дивергенции ротора, первое слагаемое также равно нулю из-за условия (29)

$$\nabla \cdot (Q\boldsymbol{r}) = Q\nabla \cdot \boldsymbol{r} + \boldsymbol{r} \cdot \nabla Q = \frac{3}{r^3} Q(\theta, \varphi,) - \frac{3}{r^3} Q(\theta, \varphi,) \equiv 0\,. \tag{32}$$

В третьем слагаемом рассматриваются варианты:

$$\Delta \bar{\varphi} = \begin{cases} 0, \\ \sigma \bar{\varphi}, \end{cases} \tag{33}$$

где $\sigma = const$.

Из этого следуют два известные варианта калибровки вспомогательного векторного поля $\boldsymbol{A}$, калибровка Кулона:

$$\nabla \cdot \boldsymbol{A} = 0\,,$$

или калибровка Лоренца:

$$\nabla \cdot \boldsymbol{A} = \sigma \bar{\varphi}\,.$$

Теорема доказана.

Для электродинамики весьма актуальной является проблема отделения тороидальных и полоидальных электромагнитных полей источников, находящихся как внутри шара, так и вне его. Доказанная здесь теорема является аналогом известной классической теоремы Гаусса-Шмидта о разделении магнитного поля на внешнее и внутреннее относительно границы шара.

**Теорема 9.** Отделение тороидальных и полоидальных векторных полей источников, расположенных за пределами шара, разрешимо единственным образом, если известны внешняя нормальная компонента $H_N(\boldsymbol{r})$ и одна из двух касательных компонент $H_\tau(\boldsymbol{r})$ суммарного векторного поля $\boldsymbol{H}$ на поверхности $S$ шара $V$.

Доказательство.

Пусть на $S$ известна суммарная скалярная функция $Q = Q^e + Q^i$, состоящая из внешней $Q^e$ и внутренней $Q^i$ частей. С учетом формулы (17) можно записать на поверхности $S$:

$$Q^e + Q^i = -\sum_{n=1}^{\infty} R \frac{S_n(\theta, \varphi)}{n(n+1)} [A_n \frac{1}{R^{n+1}} + B_n R^n], \tag{34}$$

где $A_n$ и $B_n$ – комплексные постоянные, соответственно внешней $A_n$ и внутренней $B_n$ функции $Q$. Тороидальные и полоидальные компоненты магнитного поля на поверхности шара $S$ вычисляются с использованием определений $\boldsymbol{H}_T$ и $\boldsymbol{H}_P$:

$$\boldsymbol{H}_T = \frac{1}{\sin\theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} (Q^e + Q^i) e_\theta - \frac{\partial}{\partial \theta} (Q^e + Q^i) e_\varphi,$$

$$\boldsymbol{H}_P = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial \theta}(Q^e + Q^i)e_\theta + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial \varphi}(Q^e + Q^i)e_\varphi - \\ - \frac{1}{r\sin\theta}\left(\frac{\partial}{\partial \theta}\sin\theta\frac{\partial}{\partial \theta}(Q^e + Q^i) - \frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}(Q^e + Q^i)\right)e_r. \quad (35)$$

Помня о зависимости функции $Q$ от радиуса $r$ для внешних и внутренних источников и опуская элементарные выкладки, запишем компоненты полоидального поля следующим образом:

$$H_{P\theta} = -\frac{n}{r^{n+2}}\frac{\partial}{\partial \theta}Q^e + (n+1)r^{n-1}\frac{\partial}{\partial \theta}Q^i, \\ H_{P\varphi} = -\frac{n}{r^{n+2}}\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial \varphi}Q^e + (n+1)r^{n-1}\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial \varphi}Q^i, \quad (36) \\ H_{Pr} = \frac{1}{r\sin\theta}\left[\cos\theta\frac{\partial(Q^e + Q^i)}{\partial \theta} + \sin\theta\frac{\partial^2(Q^e + Q^i)}{\partial \theta^2} - \frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial^2(Q^e + Q^i)}{\partial \varphi^2}\right]$$

Учитывая формулы (34), (35) запишем касательные компоненты суммарного магнитного поля и его нормальную компоненту в следующем виде:

$$H_{\tau\theta} = -\sum_{n=1}^{\infty} X_n(\theta,\varphi)\frac{1}{n(n+1)}\left[-A_n\frac{n}{R^{n+1}} + B_n(n+1)R^n\right], \\ H_{\tau\varphi} = -\sum_{n=1}^{\infty} Y_n(\theta,\varphi)\frac{1}{n(n+1)}\left[-A_n\frac{n}{R^{n+1}} + B_n(n+1)R^n\right], \quad (37) \\ H_N = \sum_{n=1}^{\infty} Z_n(\theta,\varphi)\frac{1}{n(n+1)}\left[A_n\frac{1}{R^{n+1}} + B_nR^n\right].$$

Здесь $X_n(\theta,\varphi), Y_n(\theta,\varphi), Z_n(\theta,\varphi) \in C^\infty$ – сложные угловые функции, производные от известной функции $S_n(\theta,\varphi)$. Формулы (37) указывают на то, что любая пара, составленная из одной касательной компоненты и нормальной, позволяет разделить коэффициенты внешних и внутренних относительно поверхности $S$ векторных полей единственным образом, поскольку определитель разделяющих уравнений отличен от нуля:

$$\begin{vmatrix} \frac{1}{R^{n+1}}, & R^n \\ -\frac{n}{R^{n+1}}, & (n+1)R^n \end{vmatrix} = \frac{(2n+1)}{R}. \quad (38)$$

Раздельное вычисление $Q^e$ и $Q^i$ позволяет восстановить на поверхности шара $S$ полоидальное и тороидальное векторные поля как от источников, расположенных внутри шара, так и от внешних источников.

Теорема доказана.

Важнейшей проблемой электродинамики является проблема применимости соотношений Ампера и Фарадея на Земле, являющиеся основными в уравнениях Максвелла. Предлагаемая теорема 10, как нам представляется, решает эту проблему с помощью оценок по магнитному числу Рейнольдса $R_{me} = L\mu\sigma|\boldsymbol{V}|$.

**Теорема 10.** Пределы применимости стандартных уравнений Ампера и Фарадея ограничиваются технической физикой и любыми экспериментами с магнитными полями на Земле в связи с малыми значениями критерия подобия – магнитного числа Рейнольдса $\mathrm{Re}_m = L\mu\sigma|\boldsymbol{V}|$.

Доказательство.

Известно, что эффект Дж. Лармора вызывает дополнительное электрическое поле:

$$\boldsymbol{E}' = \boldsymbol{E} + [\boldsymbol{V} \times \boldsymbol{B}], \tag{39}$$

где $\boldsymbol{E}'$ – дополнительное электрическое поле по сравнению со стандартной напряженностью $\boldsymbol{E}$, $\boldsymbol{V}$ – скорость заряженной жидкости или скорость одной системы отсчета относительно другой, $\boldsymbol{B}$ – магнитная индукция. Подставляя (39) в уравнение Фарадея, получим:

$$\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t} = -\nabla \times (\boldsymbol{E} + [\boldsymbol{V} \times \boldsymbol{B}]) \tag{40}$$

Преобразовав уравнение Ампера умножением справа и слева на магнитную проницаемость $\mu$, например, $\nabla \times \boldsymbol{B} = \mu\sigma\boldsymbol{E}$, где $\sigma$ – удельная проводимость, можно получить новое уравнение, объединением уравнений Ампера и Фарадея путем исключения электрического поля:

$$\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t} = \frac{1}{\mu\sigma}\Delta\boldsymbol{B} - \nabla \times [\boldsymbol{V} \times \boldsymbol{B}]. \tag{41}$$

Уравнение (41) называют иногда уравнением индукции с динамо-слагаемым. Оно представляет уравнения Ампера и Фарадея вместе. Уравнение (41) позволяет определиться с пределами применимости стандартных уравнений Ампера и Фарадея, опираясь на критерий подобия – магнитное число Рейнольдса $\mathrm{Re}_m = L\mu\sigma|\boldsymbol{V}|$, где $L$ – характерный размер, указывающий место границы между ламинарностью и турбулентностью в магнитном поле.

В земных условиях $\mathrm{Re}_m \le 1$ из-за малых $L$ на Земле. Это дает возможность отбросить второе слагаемое в (41) и получить стандартное уравнение индукции для Земли:

$$\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t} = \frac{1}{\sigma\mu}\Delta\boldsymbol{B}. \tag{42}$$

Уравнение (42) абсолютно верное и отражает электродинамику на Земле, полностью подчиняющуюся стандартным уравнениям Ампера и Фарадея. Они абсолютно верны в этом случае.

В космической электродинамике $\mathrm{Re}_m = 10^{12} \div 10^{17}$ единиц из-за больших $L$, поэтому уравнение (41) можно переписать так:

$$\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t} = -\nabla \times [\boldsymbol{V} \times \boldsymbol{B}]. \tag{43}$$

Уравнение (43) предполагает наличие турбулентности в магнитном поле в том числе из-за больших значений $\mathrm{Re}_m$ в космосе (из-за больших $L$).

В естественном электромагнитном поле на Земле, в связи со значительными размерами естественных источников критерий Рейнольдса $\mathrm{Re}_m = 10^3 \div 10^5$. Поэтому в уравнении (41) нельзя отбрасывать слагаемые в правой части, что предопределяет появление гидромагнитных эффектов в естественном электромагнитном поле в атмосфере Земли. Это требует корректировки стандартных уравнений Ампера и Фарадея с учетом второго слагаемого в правой части (41) и эффектов, вызывающих пересоединение электромагнитных полей [5].

Теорема доказана.

Следующая теорема выявляет источники тороидальных полей в сферических областях и объясняет появление нового явления в электродинамике, а именно пересоединение силового магнитного поля в несиловое.

**Теорема 11.** Источником тороидального несилового магнитного поля $\boldsymbol{H}_T$ и силового $\boldsymbol{H}_P$ являются тороидальные компоненты полного сферического электрического тока, если $\boldsymbol{j} \neq 0$.

Доказательство.

Оператор полного электрического тока, как известно, имеет вид:

$$\boldsymbol{j} = (\nabla\nabla\cdot - \nabla\times\nabla\times)\boldsymbol{A} \tag{44}$$

Спроектируем этот оператор на оси сферической системы координат, зафиксировав только тороидальные компоненты полного тока:

$$\begin{aligned}
-j_\theta^{\Pi} &= \frac{\partial^2 A_\theta}{\partial r^2} + \frac{2\partial A_\theta}{r\partial r} + \frac{1}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial^2 A_\theta}{\partial\varphi^2} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 A_\theta}{\partial\theta^2} - \frac{\cos\theta}{r^2\sin\theta}\frac{\partial A_\theta}{\partial\theta} - \frac{A_\theta}{r^2\sin^2\theta} - \\
&2\frac{\cos\theta}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial A_\varphi}{\partial\varphi} + \frac{2\partial A_r}{r^2\partial\theta}, \\
-j_\varphi^{\Pi} &= \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\sin\theta\frac{\partial A_\varphi}{\partial\varphi} + \frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial^2 A_\varphi}{\partial\varphi^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial^2 rA_\varphi}{\partial r^2} + \frac{\cos\theta}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial A_\theta}{\partial\varphi} - \\
&-\frac{\cos\theta}{r^2\sin\theta}\frac{\partial A_\varphi}{\partial\varphi} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial\theta}\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\sin\theta A_\varphi - \frac{1}{r}\frac{\partial^2 A_\varphi}{\partial\theta\partial\varphi} + \frac{2}{r^2\sin\theta}\frac{\partial A_r}{\partial\varphi}.
\end{aligned} \tag{45}$$

Сферические компоненты векторного потенциала через скалярную функцию $Q$ можно выразить следующим образом:

$$A_\theta = \frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial Q}{\partial\varphi};\quad A_\varphi = -\frac{\partial Q}{\partial\theta};\quad A_r = rQ. \tag{46}$$

Компоненты тороидального магнитного поля по определению имеют вид:

$$H_{T\theta} = \frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial Q}{\partial\varphi};\quad H_{T\varphi} = -\frac{\partial Q}{\partial\theta};\quad H_{Tr} \equiv 0. \tag{47}$$

Анализ формулы (45) показывает, что проекции уравнения для полного тока на оси сферической системы координат имеют среди слагаемых следующие выражения:

$$\frac{2\partial A_r}{r^2\sin\theta\partial\varphi} = \frac{2}{r\sin\theta}\frac{\partial Q}{\partial\varphi} = \frac{2}{r}H_{T\theta};\quad \frac{2\partial A_r}{r^2\partial\theta} = \frac{2}{r}\frac{\partial Q}{\partial\theta} = -\frac{2}{r}H_{T\varphi}. \tag{48}$$

С учётом формул (46) правые части выражений (48) как раз и есть удвоенные компоненты тороидального магнитного поля, отнесённые к текущему радиусу, что даёт им размерность плотности тока. Появление несиловых компонент тороидального поля в (48) подтверждает эффект пересоединения силового магнитного поля в несиловое.

Теорема доказана.

Таким образом, тороидальные компоненты сферической плотности тока всегда порождают тороидальные несиловые компоненты тороидального магнитного поля. Этот факт имеет принципиальный характер для областей с малыми значениями критерия подобия, так как для возникновения несилового тороидального магнитного поля в них не нужна турбулентность в магнитном поле, конвекция вещества и неравномерное вращение космических объектов. Достаточно эффекта пересоединения магнитных полей [5].

## 2. Гибридные уравнения. Об эффектах пересоединения магнитных полей

Разработанная выше теория электродинамики в терминах полоидальных и тороидальных полей не является абсолютно оригинальной. Её истоки можно найти в фундаментальной монографии Стреттона [6]. В этой монографии Стреттон показал наличие в электродинамике двух типов электромагнитных полей, а именно полей магнитного типа МТ и электрического типа ЭТ. В определенных здесь терминах формулы для них есть:

$$\boldsymbol{H}_P^{MT} = \nabla\times\nabla\times(Q\boldsymbol{r}), \quad \boldsymbol{E}_T^{MT} = -i\omega\mu\nabla\times(Q\boldsymbol{r}),$$
$$\boldsymbol{H}_T^{ЭТ} = \nabla\times(Q\boldsymbol{r}), \quad \boldsymbol{E}_P^{ЭТ} = \frac{1}{\sigma'}\nabla\nabla\cdot(Q\boldsymbol{r}). \tag{49}$$

Нетрудно заметить, что определения (49) электромагнитных полей Стреттона совпадают с полоидальным Р и тороидальным Т электромагнитными полями полоидального и тороидального типов с небольшим исключением за счет введения силовых и несиловых электромагнитных полей. Этим авторская классификация отличается от классификации Стреттона.

В предложенной выше авторской теории электромагнитных полей вскрывается еще одно замечательное свойство этих полей их возможное пересоединение, то есть замена топологии силовых полоидальных магнитных полей на топологию несиловых тороидальных магнитных полей, в которых отсутствует сила Лоренца. Это приводит к реализации главного критерия магнитогидродинамической теории из [5], а именно к нарушению связности силовых линий в связи с отсутствием магнитных силовых линий в несиловом тороидальном магнитном поле. В связи с этим несиловое тороидальное магнитное поле не удерживает заряженные частицы из-за отсутствия в нем силы Лоренца. Это обстоятельство порождает целый ряд известных эффектов, которые будут обсуждены ниже.

Явление пересоединения силового магнитного поля в несиловое по формуле (21) и наоборот несиловое в силовое, как раз, и приводит к резкому нарушению топологии магнитного поля, что является основополагающим фактором в явлении пересоединения.

Принимая во внимание все выше сформулированные теоремы можно записать известные силовые уравнения и возникшие из-за учета несиловых электромагнитных полей гибридные уравнения электродинамики. Гибридные уравнения учитывают, как известные силовые, так и вновь определенные несиловые электромагнитные поля.

| Силовые уравнения: | Гибридные уравнения: |
|---|---|
| $\nabla\times\boldsymbol{B} = \mu\boldsymbol{j}$ - Ампер, | $\nabla\times\boldsymbol{H}_P = \chi\boldsymbol{H}_T + \boldsymbol{j}^{CT}, \quad \nabla\times\boldsymbol{H}_T = \boldsymbol{H}_p,$ |
| $\nabla\times\boldsymbol{E} = -\frac{\partial\boldsymbol{B}}{\partial t} - Фарадей,$ | $\nabla\times\boldsymbol{E}_T = -\mu\frac{\partial\boldsymbol{H}_P}{\partial t}, \quad \nabla\times\boldsymbol{E}_P = 0,$ |
| $\nabla\times\boldsymbol{B} = \mu j + \frac{\partial\boldsymbol{D}}{\partial t}$ - Максвелл, | $\boldsymbol{j}^{CT} = \mu\sigma\boldsymbol{E}_T + \frac{\partial\boldsymbol{D}_P}{\partial t},$ |
| $\nabla\cdot\boldsymbol{B} = 0$ – Гаусс, | $\nabla\cdot(\boldsymbol{H}_P,\boldsymbol{H}_T,\boldsymbol{E}_T,\boldsymbol{E}_P)=0,$ |
| $\boldsymbol{E}' = \boldsymbol{E} + [\boldsymbol{V}\times\boldsymbol{B}]$ – Лармор, | $\boldsymbol{E}' = \boldsymbol{E}_T + [\boldsymbol{V}\times\boldsymbol{B}_P],$ |
| $\boldsymbol{F} = [\boldsymbol{j}\times\boldsymbol{B}]$ – Лоренц, | $\boldsymbol{F} = [\sigma\boldsymbol{E}_T\times\mu\boldsymbol{H}_P], \quad \bar{\boldsymbol{F}} = [\chi\boldsymbol{H}_T\times\mu\boldsymbol{H}_T],$ |
| э.д.с.$=\int_S(\boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{dl})$ – Фарадей, | э.д.с.$=\int_S(\boldsymbol{E}_T\cdot\boldsymbol{dl}), \quad \int_S(\boldsymbol{E}_P\cdot\boldsymbol{dl}),$ |
| $\nabla\cdot\boldsymbol{D} = -4\pi\rho.\ \boldsymbol{B} = \mu\boldsymbol{H}, \boldsymbol{D} = \varepsilon\boldsymbol{E},$ | $\boldsymbol{B}_P = \mu\boldsymbol{H}_P, \boldsymbol{B}_T = \mu\boldsymbol{H}_T, \boldsymbol{D}_{T,P} = \varepsilon\boldsymbol{E}_{T,P},$ $\nabla\cdot\boldsymbol{D}_{P,T} = -4\pi\rho.$ |

(50)

Анализ правых уравнений из (50) показывает, что эти уравнения отражают два разных физических явления. Левые уравнения представляют собой электромагнитную индукцию. Правые уравнения, по сути, отражают явление пересоединения электромагнитных полей наряду с индукцией. Если из правых уравнений исключить несиловую часть, то правые уравнения автоматически переходят в левую силовую часть электродинамики. Часто в экспериментах оба типа уравнений существуют одновременно.

Вид уравнений (50) позволяет высказать предположение о том, что правые уравнения выглядят более общими из-за присутствия в них несиловых электромагнитных полей. Присутствие несиловых составляющих обычно ограничивается теоремой Т. Кауллинга об отсутствии тороидального магнитного поля от планальных и цилиндрических источников. Однако в результате магнитного пересоединения, которое перестраивает топологию силового электромагнитного поля на несиловое, возможно преодоление ограничений теоремы Т. Кауллинга о возвратной симметрии [4].

**Приложения**

**1. Пересоединение магнитного поля в атмосфере Земли.**

В сферических областях, включающих сферические источники, легко находится ответ на эффект, который известен с 1902 г. [10], и заключается в том, что естественное магнитное поле в не проводящей атмосфере Земли содержит в себе значительную не потенциальную составляющую. Эта не потенциальная составляющая появляется в атмосфере из-за своеобразной формы источника в виде глобальных вихрей $S_q$ вариаций в ионосфере, приводящих к частичному пересоединению магнитного поля по формуле (21). Этот эффект, подтвержденный неоднократно, позволяет назвать правые уравнения (50) гибридными уравнениями электродинамики и считать их более общими по сравнению с левыми уравнениями формул (50). Эффект пересоединения магнитных полей непосредственно следует из правых уравнений (50). Применение правых уравнений (50) позволило создать теорию геомагнетизма на основе новой парадигмы в геомагнетизме и векторных уравнений [3].

**2. Эффект пересоединения магнитного поля и электродинамика в токамаке.**

Самым, пожалуй, интересным приложением правых соотношений из (50) является анализ поведения магнитных полей в токамаке. Из [5] следует, что в тороидальной катушке токамака возникает пересоединение магнитного поля с резкой сменой топологии. Это позволяет предположить, что пересоединение магнитного поля приводит к тому, что внутри «бублика» токамака возникает несиловое магнитное поле $\boldsymbol{H}_T$, которое не может удержать возникающие частицы из-за отсутствия в нем силы Лоренца. Более того, тороидальное несиловое магнитное поле внутри бублика токамака вступает во взаимную генерацию с внешним силовым магнитным полем (эффект динамо). Это приводит к мгновенному «срыву» эксперимента. Таких срывов в токамаках более 200.

Простой способ избавиться от срыва не включать ток в тороидальной катушке (это будет проверка идеи взаимодействия магнитных полей). Вторым способом избавиться от срыва является замена тороидальной катушки с электрическим током на трубу пробкотрона с соединенными концами с тем, чтобы исключить утечку плазмы через концы трубы зеркальной ловушки.

Внешнее магнитное поле своими силовыми линиями должно навиваться теперь уже на бублик пробкотрона и поджимать плазму к центру полости бублика. Такую конструкцию автор назвал пробкомаком. Эксперимент с пробкомаком можно осуществить на оборудовании токамака заменой тороидальной катушки с током на трубу пробкотрона с соединенными концами. Возникает полностью статичная схема осуществления термоядерной реакции лишь путем нагревания дейтерия и дейтеритя лития шесть внутри пробкомака.

С целью понижения температуры термоядерной реакции необходимо применить катализаторы, способствующие слиянию ядер дейтерия и трития в пробкомаке. Например, поднять давление в пробкомаке до более 200 атмосфер и периодически добавлять в трубу пучок свободных нейтронов.

**3. Пересоединение магнитных полей в космосе.**

Пересоединение магнитного поля проявляет себя при известном явлении набегания солнечного ветра на магнитосферу Земли. При этом первое, что происходит в связи с «завихрением» силового магнитного поля солнечного ветра это пересоединение силового магнитного поля в несиловое, в котором сила Лоренца отсутствует. Поэтому «вмороженные» частицы солнечного ветра высвобождаются из-за того, что несиловое магнитное поле $\boldsymbol{H}_T$ не может их удержать из-за отсутствия в нем силы Лоренца. Частицы «высыпаются» в основном в каспы, частично попадают внутрь магнитосферы, вызывая свечение в верхних слоях атмосферы.

**Заключение.**

Сопоставление известных уравнений для силовых электромагнитных полей с гибридными уравнениями позволило выявить ряд новых явлений в пересоединении магнитных полей не столько с поворотом магнитных полей и нарушением связности магнитных силовых линий, сколько с пересоединением силовых электромагнитных полей в несиловые. Это объясняет известные эффекты, наблюдаемые в магнитном поле токамака, сопровождающиеся срывом пересоединённого несилового магнитного поля с силовым.

Предлагаемый пробкомак исключает вышеописанные эффекты взаимной генерации из-за отсутствия несилового тороидального магнитного поля внутри бублика пробкомака. Это позволяет получить термоядерную реакцию в лабораторных условиях.

** Исследование выполнено в рамках Государственного задания ИВМиМГ СО РАН FWNM-2025-0004.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов, В.В. О некоторых соленоидальных векторных полях в сферических областях // Дифференциальные уравнения. – 2012. – Т. 48. – №7. – С. 1056-1059.

2. Аксенов, В.В. Тороидальное разложение векторного потенциала магнитного поля и его приложения. // Вестник МГУ. Серия 3. Физика. Астрономия. 2015, № 6. – С. 128-134.

3. Аксенов, В.В. Электромагнитное поле Земли. – 3-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: Изд. ИВМиМГ СО РАН. 2010. – 268 с.

4. Кауллинг, Т. Магнитная электродинамика. – М.: Атомиздат. 1978. – 96 с.

5. Прист, Э., Форбс, Т. Магнитное пересоединение. Магнитогидродинамическая теория и приложения. – М.: Физматлит. – 2005. – 591 с.

6. Стрэттон, Дж. А. Теория электромагнетизма. – М.–Л.: ОГИЗ, 1948. – 539 с.

7. Chandraseckhar, S. On force-free magnetic fields // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 1956. – V. 42. – No. 1. – P. 1-5.

8. Giovanelli, R.G. A theory of chromosphere flares// Nature. – 1946. – V. 158. – P. 81-82.

9. Hoyle, F. Some Recent Researches in Solar Physics.-Cambridge: Cambridge Univ. Press. – 1949.

10. Van Vleuten, A. Over de dagelijsche variatie van het Ardmagnetisme.Koninklijk Ned. Meteor. Instit. No. 102. Uyrecht. – 1917. – P. 5-30.

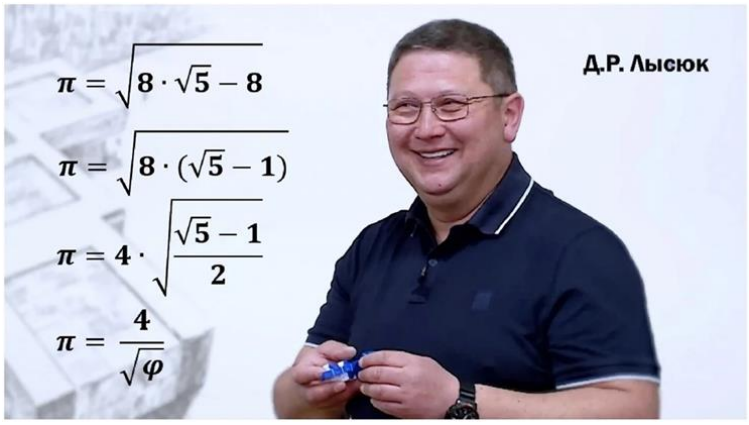
*Материал поступил в редакцию 13.10.26*

## ELECTRODYNAMIC FOUNDATIONS AND APPLICATIONS OF MAGNETIC FIELD RECONNECTION IN HYBRID ELECTRODYNAMIC EQUATIONS

**V.V. Aksenov,** Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor, Chief Researcher
Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk), Russia
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6405-7821
E-mail: aksenov@omzg.sscc.ru

***Abstract.*** *This article proves several theorems justifying the introduction of non-force electromagnetic fields into electrodynamics. A new classification of electrodynamic equations, called hybrid electrodynamic equations, is introduced. These equations take into account not only the force component but also non-force electromagnetic fields. When non-force electromagnetic fields are excluded, the hybrid equations automatically transition to the well-known classification of force equations. The emergence of non-force electromagnetic fields in electrodynamics has made it possible to explain the existence of the non-force component of the magnetic field in the Earth's atmosphere due to magnetic field reconnection, to explain the "disruption" of a tokamak experiment due to the mutual generation of an external force magnetic field with a non-force magnetic field within the tokamak's toroidal coil, and to explain the "defrosting" of particles in the solar wind incident on the magnetosphere due to the disappearance of the Lorentz force in the incident magnetic field. The magnetic field reconnection effect occurs when the solar wind contacts the Earth's magnetosphere.*

***Keywords:*** *force and non-force electromagnetic fields, electromagnetic field reconnection, hybrid equations of electrodynamics, applications.*




**УДК 511.1**
**УДК 514:510**

# СПОСОБ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОНСТАНТЫ π (Пи) ЧЕРЕЗ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ 1/8 (Октанта) ЕДИНИЧНОГО КРУГА (R=1) В ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ТРЕУГОЛЬНИК РАВНОЙ ПЛОЩАДИ, И СРАВНЕНИИ ТРЕУГОЛЬНИКОВ, ОБРАЗОВАННЫХ ДУГОЙ КРУГА И ПОЛУЧЕННЫМ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

**Д.Р. Лысюк,** инженер-исследователь, автор-разработчик проекта CUUBER®,
автор-разработчик детского конструктора CUBER®, Учредитель
ООО «КУУБЕР» (г. Москва), Россия
E-mail: lysyuk.d@cuuber.com

***Аннотация.*** *В статье представлен оригинальный геометрический метод дедуктивного вычисления точного аналитического значения константы π. На основе метода неделимых Кавальери разработана математическая модель изоморфного преобразования площади 1/8 части сегмента единичного круга в эквивалентный по площади прямоугольный треугольник. Через анализ системы взаимопересекающихся подобных треугольников автору удалось составить единое алгебраическое уравнение четвертой степени, решением которого являются точные выражения для константы* ***π****. В работе математически доказана и обоснована прямая сквозная связь числа π с пропорцией золотого сечения φ и треугольником Кеплера. Продемонстрировано, что динамика аддитивного развертывания площадей и линейных размеров исследуемых геометрических фигур формирует фрактальные последовательности, полностью тождественные числовым рядам Фибоначчи.*

***Ключевые слова:*** *Число* ***π****, принцип Кавальери, подобие треугольников, фрактальный рост, золотое сечение* ***φ****, треугольник Кеплера, геометрический метод.*

## Введение

Вычисление фундаментальной математической константы **π**, определяющей отношение длины окружности к ее диаметру, на протяжении веков остается одной из классических задач математического анализа, геометрии и теории чисел. Традиционные аналитические методы приближенного определения значения **π**, как правило, базируются на бесконечных рядах, произведениях (таких как формулы Лейбница, Валлиса, Ньютона-Эйлера) или итерационных алгоритмах (сверхсходящиеся алгоритмы Гаусса — Прента — Саламина). Несмотря на высокую вычислительную эффективность, данные подходы носят дискретно-числовой или аппроксимационный характер и не всегда вскрывают сквозные геометрические взаимосвязи **константы** с иными фундаментальными пропорциями макрокосма.

В настоящей работе предлагается оригинальный геометрический метод дедуктивного вычисления точного аналитического значения константы **π**. В основу исследования положен метод неделимых Бонавентуры Кавальери (принцип равновеликости геометрических фигур). Через изоморфное преобразование площади одной восьмой 1/8 части (октанта-сегмента) единичного круга с R=1 в эквивалентный по площади прямоугольный треугольник, формируется строгое геометрическое основание для составления уравнений связности.

Особую актуальность исследованию придает обнаруженная в ходе геометрического моделирования прямая аналитическая связь константы **π** с пропорцией золотого сечения **φ** и классическим треугольником Кеплера. Рассмотрение пересечений элементов единичной окружности сторонами производных подобных треугольников позволяет не просто рассчитать константу, но и описать законы их фрактального роста. Динамика развертывания последовательности прямоугольных треугольников, как показано в работе, подчиняется аддитивным свойствам, подобно числовым рядам Фибоначчи.

Таким образом, разработанный способ позволяет по-новому взглянуть на природу константы **π** не как на трансцендентный предел, но как на алгебраический объект, жестко интегрированный в архитектонику золотой пропорции и фрактальных систем.

© Лысюк Д.Р. / Lysiuk D.R., 2026

**Основная часть**

**1.** По методу Кавальери, преобразуем 1/8 (октант) часть единичного круга (R=1) в равный по площади прямоугольный треугольник с катетами $a = 1$ и $b = \frac{\pi}{4}$

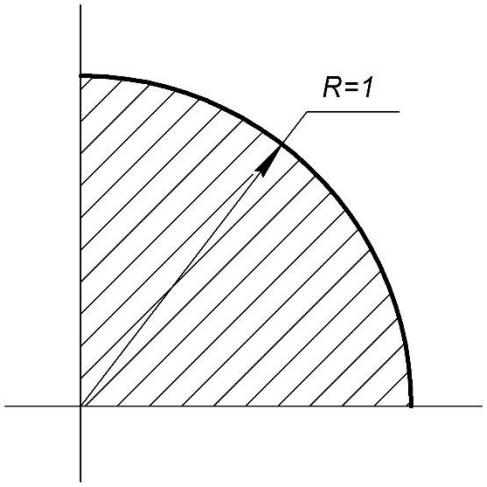



*Рис. 1*

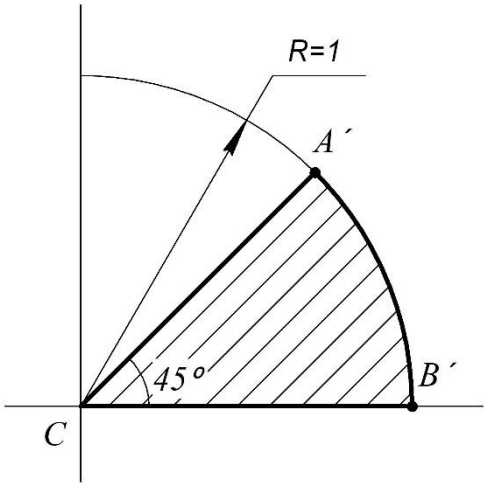



*Рис. 2*

$$S_{\frac{1}{8}} = \frac{1}{8}\pi R^2$$

$$S_{\frac{1}{8}} = \frac{\pi}{8}$$

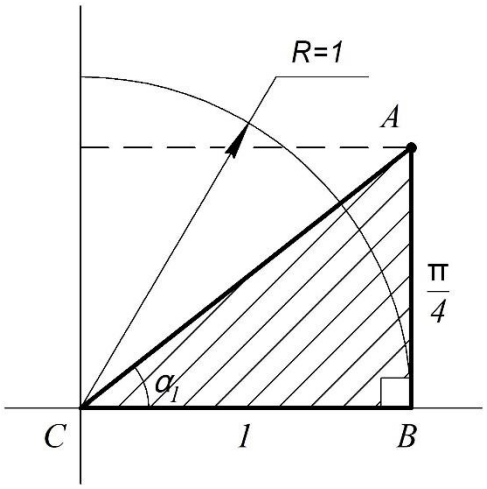



*Рис. 3*

$$A'B' = \frac{2\pi R}{8} = \frac{\pi}{4}$$

$$S_{\Delta ABC} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 1 = \frac{\pi}{8}$$

$$S_{\Delta ABC} = S_{\frac{1}{8}}$$

**Вывод:** $A'B' = AB = \frac{\pi}{4}$; $S_{\Delta ABC} = S_{\frac{1}{8}}$; **константа π - не изменилась**

**2.** Рассмотрим треугольники, которые образуются пересечением дуги единичной окружности ($R$=1), сторонами треугольника $\Delta ABC$ и их проекциями на координатные оси:

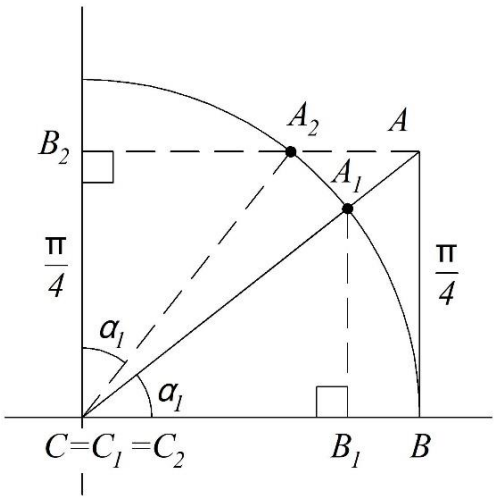



*Рис. 4*

$\mathbf{C_1A_1{=}C_2A_2{=}1}$

$$\cos\alpha_1 = \frac{CB}{CA} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + \left(\frac{\pi}{4}\right)^2}} = \frac{4}{\sqrt{16+\pi^2}}$$

$$\sin\alpha_1 = \frac{AB}{CA} = \frac{\frac{\pi}{4}}{\sqrt{1^2 + \left(\frac{\pi}{4}\right)^2}} = \frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}}$$

$$CA = \sqrt{\frac{16+\pi^2}{16}} = \frac{\sqrt{16+\pi^2}}{4}$$

$$A_2B_2 = \sqrt{A_2C_2^2 - C_2B_2^2} = \sqrt{1 - \frac{\pi^2}{16}} = \frac{\sqrt{16-\pi^2}}{4}$$

$$\cos\alpha_2 = \frac{\pi}{4}$$

$$A_1B_1 = C_1A_1 \cdot \sin\alpha_1 = 1 \cdot \frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}} = \frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}}$$

$$\sin\alpha_2 = \frac{\sqrt{16-\pi^2}}{4}$$

$$C_1B_1 = C_1A_1 \cdot \cos\alpha_1 = 1 \cdot \frac{4}{\sqrt{16+\pi^2}} = \frac{4}{\sqrt{16+\pi^2}}$$

$$\operatorname{tg}\alpha_2 = \frac{\sqrt{16-\pi^2}}{\pi}$$

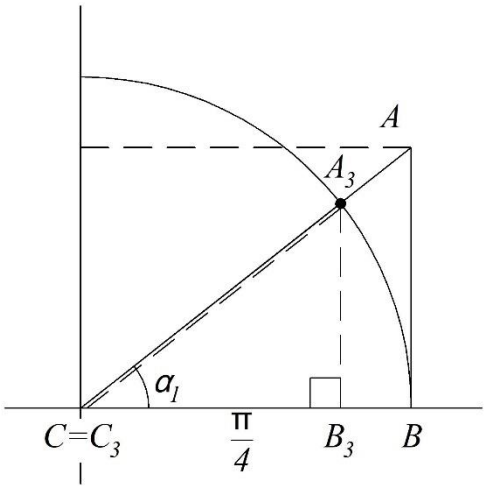



*Рис. 5*

Построим $\Delta A_3B_3C_3$, у которого катет $C_3B_3 = \frac{\pi}{4}$

поскольку $tg\,\alpha_1 = \frac{\pi}{4}$

$$A_3B_3 = C_3B_3 \cdot tg\alpha_1 = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\pi}{4} = \frac{\pi^2}{16}$$

Найдем гипотенузу

$$C_3A_3 = \sqrt{C_3B_3^2 + A_3B_3^2} = \sqrt{\left(\frac{\pi}{4}\right)^2 + \left(\frac{\pi^2}{16}\right)^2} = \sqrt{\frac{\pi^2}{16} + \frac{\pi^2 \cdot \pi^2}{16 \cdot 16}} =$$

$$= \frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{16+\pi^2}{16}} = \frac{\pi \cdot \sqrt{16+\pi^2}}{16}$$

**3.** Рассмотрим $\Delta A_1B_1C_1$, $\Delta A_2B_2C_2$, $\Delta A_3B_3C_3$ и построим треугольник $\Delta A_4B_4C_4$, применив комбинацию длин сторон (этот треугольник не влияет на вычисления, но помогает провести дополнительную проверку точности вычислений)

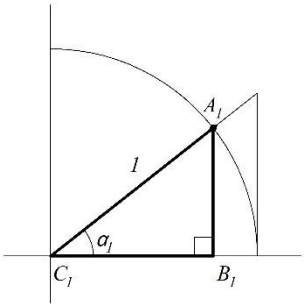



*Рис. 6*

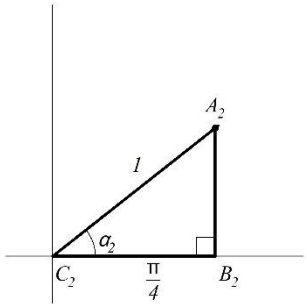



*Рис. 7*

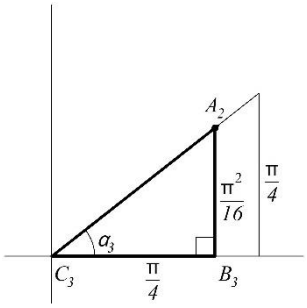



*Рис. 8*

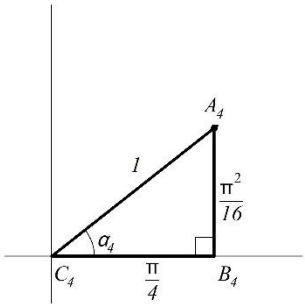



*Рис. 9*

$C_1A_1 = 1$

$C_1B_1 = \frac{4}{\sqrt{16+\pi^2}}$

$A_1B_1 = \frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}}$

$\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{\pi}{4}$

$\cos\alpha_1 = \frac{4}{\sqrt{16+\pi^2}}$

$\sin\alpha_1 = \frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}}$

$C_2A_2 = 1$

$C_2B_2 = \frac{\pi}{4}$

$A_2B_2 = \frac{\sqrt{16-\pi^2}}{4}$

$\operatorname{tg}\alpha_2 = \frac{\sqrt{16-\pi^2}}{\pi}$

$\cos\alpha_2 = \frac{\pi}{4}$

$\sin\alpha_2 = \frac{\sqrt{16-\pi^2}}{4}$

$C_3A_3 = \frac{\pi\cdot\sqrt{16+\pi^2}}{16}$

$C_3B_3 = \frac{\pi}{4}$

$A_3B_3 = \frac{\pi^2}{16}$

$\operatorname{tg}\alpha_3 = \frac{\pi}{4}$

$\cos\alpha_3 = \frac{4}{\sqrt{16+\pi^2}}$

$\sin\alpha_3 = \frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}}$

$C_4A_4 = 1$

$C_4B_4 = \frac{\pi}{4}$

$A_4B_4 = \frac{\pi^2}{16}$

$\operatorname{tg}\alpha_4 = \frac{\pi}{4}$

$\cos\alpha_4 = \frac{\pi}{4}$

$\sin\alpha_4 = \frac{\pi^2}{16}$

**4.** Поскольку число $\boldsymbol{\pi}$ является константой (const), число $\boldsymbol{\pi}$ может быть частью сложных выражений, включающих в себя любые математические действия: сложение, умножение, и т.д.

**Выдвигаем гипотезу:** $\boldsymbol{\Delta A_1B_1C_1 = \Delta A_2B_2C_2 = \Delta A_3B_3C_3 = \Delta A_4B_4C_4}$.

**Если гипотеза верна, тогда:**

$C_1A_1 = C_2A_2 = C_3A_3 = C_4A_4$, или $1 = 1 = \frac{\pi\cdot\sqrt{16+\pi^2}}{16} = 1$; $\quad \mathbf{1 = \frac{\pi\cdot\sqrt{16+\pi^2}}{16}}$

$C_1B_1 = C_2B_2 = C_3B_3 = C_4B_4$, или $\frac{4}{\sqrt{16+\pi^2}} = \frac{\pi}{4} = \frac{\pi}{4} = \frac{\pi}{4}$; $\quad \mathbf{\frac{4}{\sqrt{16+\pi^2}} = \frac{\pi}{4}}$

$A_1B_1 = A_2B_2 = A_3B_3 = A_4B_4$, или $\frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}} = \frac{\sqrt{16-\pi^2}}{4} = \frac{\pi^2}{16} = \frac{\pi^2}{16}$; $\quad \mathbf{\frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}} = \frac{\sqrt{16-\pi^2}}{4} = \frac{\pi^2}{16}}$

$tg\alpha_1 = tg\alpha_2 = tg\alpha_3 = tg\alpha_4$, или $\frac{\pi}{4} = \frac{\sqrt{16-\pi^2}}{\pi} = \frac{\pi}{4} = \frac{\pi}{4}$; $\quad \mathbf{\frac{\pi}{4} = \frac{\sqrt{16-\pi^2}}{\pi}}$

$\cos\alpha_1 = \cos\alpha_2 = \cos\alpha_3 = \cos\alpha_4$, или $\frac{4}{\sqrt{16+\pi^2}} = \frac{\pi}{4} = \frac{4}{\sqrt{16+\pi^2}} = \frac{\pi}{4}$; $\quad \mathbf{\frac{4}{\sqrt{16+\pi^2}} = \frac{\pi}{4}}$

$\sin\alpha_1 = \sin\alpha_2 = \sin\alpha_3 = \sin\alpha_4$, или $\frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}} = \frac{\sqrt{16-\pi^2}}{4} = \frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}} = \frac{\pi^2}{16}$; $\quad \mathbf{\frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}} = \frac{\sqrt{16-\pi^2}}{4} = \frac{\pi^2}{16}}$

**5.** Для проверки **Гипотезы** « $\Delta A_1B_1C_1 = \Delta A_2B_2C_2 = \Delta A_3B_3C_3 = \Delta A_4B_4C_4$ » решим равенства и найдем значение $\pi$ для каждого равенства:

1) $1 = \frac{\pi\sqrt{16+\pi^2}}{16}$; $(1)^2 = \frac{\pi^2(16+\pi^2)}{16^2}$; $\frac{16^2}{16^2} = \frac{16\pi^2+\pi^4}{16^2}$

получим уравнение: $\boldsymbol{\pi^4 + 16\pi^2 - 16^2 = 0}$

2) $\frac{4}{\sqrt{16+\pi^2}} = \frac{\pi}{4}$; $\left(\frac{4}{\sqrt{16+\pi^2}}\right)^2 = \left(\frac{\pi}{4}\right)^2$; $\frac{16}{16+\pi^2} = \frac{\pi^2}{16}$

$\frac{16^2}{16(16+\pi^2)} = \frac{\pi^2(16+\pi^2)}{16(16+\pi^2)}$; $16\cdot(16+\pi^2) \neq 0$; $16^2 = 16\pi^2 + \pi^4$

получим уравнение: $\boldsymbol{\pi^4 + 16\pi^2 - 16^2 = 0}$

3) $\frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}} = \frac{\sqrt{16-\pi^2}}{4}$; $\left(\frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}}\right)^2 = \left(\frac{\sqrt{16-\pi^2}}{4}\right)^2$; $\frac{\pi^2}{16+\pi^2} = \frac{16-\pi^2}{16}$

$\frac{16\pi^2}{16(16+\pi^2)} = \frac{(16-\pi^2)\cdot(16+\pi^2)}{16(16+\pi^2)}$; $16\cdot(16+\pi^2) \neq 0$; $16\pi^2 = 16^2 - \pi^4$

получим уравнение: $\boldsymbol{\pi^4 + 16\pi^2 - 16^2 = 0}$

4) $\frac{\sqrt{16-\pi^2}}{4} = \frac{\pi^2}{16}$ ; $\left(\frac{\sqrt{16-\pi^2}}{4}\right)^2 = \left(\frac{\pi^2}{16}\right)^2$; $\frac{16-\pi^2}{16} = \frac{\pi^4}{16^2}$

$\frac{16^2-16\pi^2}{16^2} = \frac{\pi^4}{16^2}$

получим уравнение: $\boldsymbol{\pi^4 + 16\pi^2 - 16^2 = 0}$.

5) $\frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}} = \frac{\pi^2}{16}$; $\left(\frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}}\right)^2 = \left(\frac{\pi^2}{16}\right)^2$; $\frac{\pi^2}{16+\pi^2} = \frac{\pi^4}{16^2}$

$\frac{16^2\cdot\pi^2}{16^2\cdot(16+\pi^2)} = \frac{16\pi^4+\pi^6}{16^2\cdot(16+\pi^2)}$; $16^2\cdot(16+\pi^2) \neq 0$; $16^2\cdot\pi^2 = 16\pi^4 + \pi^6$

$16^2 = 16\pi^2 + \pi^4$

получим уравнение: $\boldsymbol{\pi^4 + 16\pi^2 - 16^2 = 0}$

6) $\frac{\pi}{4} = \frac{\sqrt{16-\pi^2}}{\pi}$; $\left(\frac{\pi}{4}\right)^2 = \left(\frac{\sqrt{16-\pi^2}}{\pi}\right)^2$; $\frac{\pi^2}{16} = \frac{16-\pi^2}{\pi^2}$; $\frac{\pi^4}{16\cdot\pi^2} = \frac{16(16-\pi^2)}{\pi^2\cdot 16}$

получим уравнение: $\boldsymbol{\pi^4 + 16\pi^2 - 16^2 = 0}$

**6.** Обратим внимание, что для всех равенств уравнение $\boldsymbol{\pi^4 + 16\pi^2 - 16^2 = 0}$ одинаковое.
Решим уравнение и найдем значение $\pi$

$\boldsymbol{\pi^4 + 16\pi^2 - 16^2 = 0}$ $\mathcal{D} = b^2 - 4\cdot a\cdot c = 16^2 + 4\cdot 1\cdot 16^2 = 5\cdot 16^2$

$\pi^2 = \frac{-b+\sqrt{\mathcal{D}}}{2\cdot a} = \frac{-16+\sqrt{16^2\cdot 5}}{2} = \frac{16\cdot\sqrt{5}-16}{2} = \frac{16\cdot(\sqrt{5}-1)}{2}$

$\pi = \sqrt{\pi^2} = \sqrt{\frac{16\cdot(\sqrt{5}-1)}{2}} = 4\cdot\sqrt{\frac{\sqrt{5}-1}{2}}$ $\quad \boxed{\boldsymbol{\pi = 4\cdot\sqrt{\frac{\sqrt{5}-1}{2}}}}$

$\pi = \sqrt{\frac{16\cdot\sqrt{5}-16}{2}} = \sqrt{8\cdot\sqrt{5}-8}$ $\quad \boxed{\boldsymbol{\pi = \sqrt{8\cdot\sqrt{5}-8}}}$

**7.** Проверим верность (правильность) значения найденного числа **π**, применив теорему Пифагора для прямоугольных треугольников:

Рассмотрим треугольник $\Delta A_1B_1C_1$: $C_1A_1 = 1$ $C_1B_1 = \frac{4}{\sqrt{\pi^2+16}}$ $A_1B_1 = \frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}}$

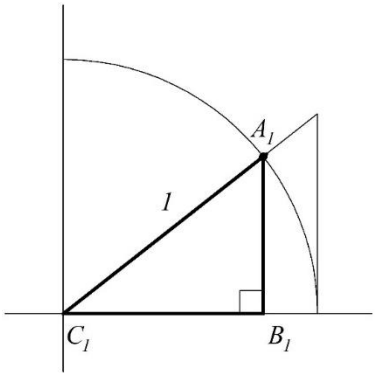



*Рис. 10*

$$(C_1A_1)^2 = (C_1B_1)^2 + (A_1B_1)^2$$

$$(C_1B_1)^2 = \frac{16}{16+8\sqrt{5}-8} = \frac{16}{8+8\sqrt{5}} = \frac{2}{1+\sqrt{5}}$$

$$(A_1B_1)^2 = \frac{\pi^2}{16+\pi^2} = \frac{8\sqrt{5}-8}{16+8\sqrt{5}-8} = \frac{8\cdot(\sqrt{5}-1)}{8\cdot(1+\sqrt{5})} = \frac{\sqrt{5}-1}{1+\sqrt{5}}$$

$$\frac{2}{1+\sqrt{5}} + \frac{\sqrt{5}-1}{1+\sqrt{5}} = \frac{2+\sqrt{5}-1}{1+\sqrt{5}} = \frac{1+\sqrt{5}}{1+\sqrt{5}} = 1$$

**Проверка по теореме Пифагора показала, что полученное значение $\pi = \sqrt{8\sqrt{5}-8}$ верно для $\Delta A_1B_1C_1$**

Рассмотрим треугольник $\Delta A_2B_2C_2$: $C^2A^2 = 1$ $C_2B_2 = \frac{\pi}{4}$ $A_2B_2 = \frac{\sqrt{16-\pi^2}}{4}$

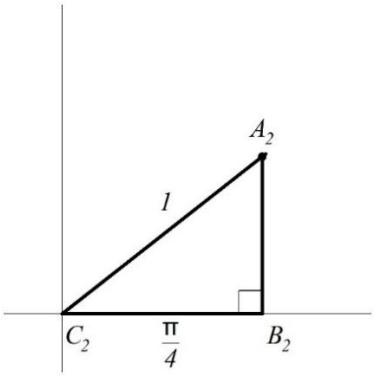



*Рис. 11*

$$(C_2A_2)^2 = (C_2B_2)^2 + (A_2B_2)^2$$

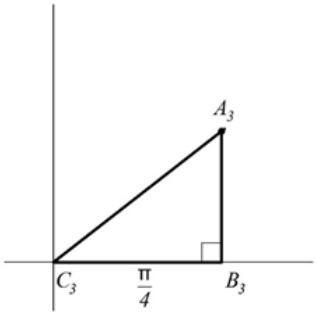
$$(C_2B_2)^2 = \frac{\pi^2}{16} = \frac{8\sqrt{5}-8}{16} = \frac{\sqrt{5}-1}{2}$$

$$(A_2B_2)^2 = \frac{16-\pi^2}{16} = \frac{16-(8\sqrt{5}-8)}{16} = \frac{16+8-8\sqrt{5}}{16} = \frac{3-\sqrt{5}}{2}$$

$$\frac{\sqrt{5}-1}{2} + \frac{3-\sqrt{5}}{2} = \frac{\sqrt{5}-\sqrt{5}-1+3}{2} = \frac{2}{2} = 1$$

**Проверка по теореме Пифагора показала, что полученное значение $\pi = \sqrt{8\sqrt{5}-8}$ верно для $\Delta A_2B_2C_2$**

Рассмотрим треугольник $\Delta A^3B^3C^3$: $C_3A_3 = \frac{\pi\cdot\sqrt{16+\pi^2}}{16}$ $C_3B_3 = \frac{\pi}{4}$ $A_3B_3 = \frac{\pi^2}{16}$




$$(C_3A_3)^2 = (C_3B_3)^2 + (A_3B_3)^2$$

$$(C_3A_3)^2 = \left(\frac{\pi\cdot\sqrt{16+\pi^2}}{16}\right)^2 = \frac{(8\sqrt{5}-8)\cdot(16+8\sqrt{5}-8)}{16^2} =$$

$$= \frac{(8\sqrt{5}-8)\cdot(8\sqrt{5}+8)}{16^2} = \frac{8^2\cdot 5-8^2}{16^2} = \frac{4\cdot 8^2}{16^2} = \frac{16^2}{16^2} = 1$$

$$(C_3B_3)^2 = \frac{\pi^2}{16} = \frac{8\sqrt{5}-8}{16} = \frac{\sqrt{5}-1}{2}$$

*Рис. 12*

$$(A_3B_3)^2 = \left(\frac{\pi^2}{16}\right)^2 = \frac{(8\sqrt{5}-8)^2}{16^2} = \frac{64\cdot 5-2\cdot 8\cdot 8\cdot\sqrt{5}+64}{4\cdot 64} = \frac{6\cdot 64-2\cdot 64\cdot\sqrt{5}}{4\cdot 64} = \frac{6-2\sqrt{5}}{4} = \frac{3-\sqrt{5}}{2}$$

$$\frac{\sqrt{5}-1}{2} + \frac{3-\sqrt{5}}{2} = \frac{\sqrt{5}-1+3-\sqrt{5}}{2} = \frac{2}{2} = 1$$

**Проверка по теореме Пифагора показала, что полученное значение $\pi = \sqrt{8\sqrt{5}-8}$ верно для $\Delta A_3B_3C_3$**

Рассмотрим треугольник $\Delta A_4B_4C_4$ : $C_4A_4 = 1$; $C_4B_4 = \frac{\pi}{4}$; $A_4B_4 = \frac{\pi^2}{16}$

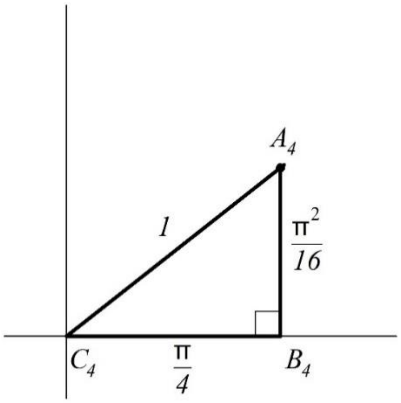



Рис. 13

$$(C_4A_4)^4 = (C_4B_4)^2 + (A_4B_4)^2$$

$$(C_4B_4)^2 = \left(\frac{\pi}{4}\right)^2 = \frac{\sqrt{5}-1}{2} \quad \text{(рассчитано ранее)}$$

$$(A_4B_4)^2 = \left(\frac{\pi^2}{16}\right)^2 = \frac{3-\sqrt{5}}{2} \quad \text{(рассчитано ранее)}$$

$$\frac{\sqrt{5}-1}{2} + \frac{3-\sqrt{5}}{2} = \frac{\sqrt{5}-1+3-\sqrt{5}}{2} = \frac{2}{2} = 1$$

**Проверка по теореме Пифагора показала, что полученное значение $\pi = \sqrt{8\sqrt{5}-8}$ верно для $\Delta A_4B_4C_4$**

**ВЫВОДЫ:**

$\Delta A_1B_1C_1 = \Delta A_2B_2C_2 = \Delta A_3B_3C_3 = \Delta A_4B_4C_4$, $\angle\alpha_1 = \angle\alpha_2 = \angle\alpha_3 = \angle\alpha_4$

$tg\,\alpha = \frac{\pi}{4}$ $\quad cos\,\alpha = \frac{\pi}{4}$ $\quad sin\,\alpha = \frac{\pi^2}{16}$

$\pi = \sqrt{8\sqrt{5}-8}$ $\quad \pi = 4 \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{5}-1}{2}}$

**8.** Рассмотрим $\Delta ABC$ и $\Delta A_4B_4C_4$

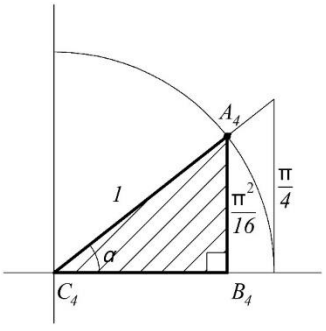



Рис. 14

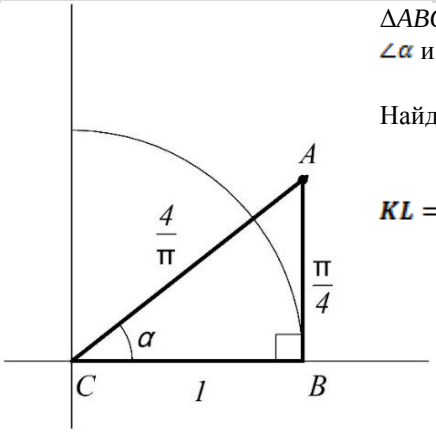



Рис. 15

$\Delta ABC$ и $\Delta A_4B_4C_4$ подобны по равенству $\angle\alpha$ и $\angle 90°$

Найдем коэффициент линейного подобия:

$$KL = \frac{CB}{C_4B_4} = \frac{AB}{A_4B_4} = \frac{1}{\left(\frac{\pi}{4}\right)} = \frac{\left(\frac{\pi}{4}\right)}{\left(\frac{\pi^2}{16}\right)} = \frac{4}{\pi}$$

Гипотенуза $CA = C_4A_4 \cdot KL = 1 \cdot \frac{4}{\pi} = \frac{4}{\pi}$

**9.** Найдем связь между золотым сечением **φ** (Фи) и **π** (Пи)

$$\varphi = \frac{\sqrt{5}+1}{2} = \frac{2}{\sqrt{5}-1}$$

проверим: $\frac{\sqrt{5}+1}{2} - \frac{2}{\sqrt{5}-1} = \frac{(\sqrt{5}+1)(\sqrt{5}-1)-2\cdot 2}{2\cdot(\sqrt{5}-1)} = \frac{5-1-4}{2\cdot(\sqrt{5}-1)} = 0$

$$\frac{1}{\varphi} = \frac{2}{\sqrt{5}+1} = \frac{\sqrt{5}-1}{2}; \qquad \frac{1}{\sqrt{\varphi}} = \sqrt{\frac{\sqrt{5}-1}{2}}$$

Получим: $\pi = 4 \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{5}-1}{2}} = \frac{4}{\sqrt{\varphi}}$ Вывод: $\boxed{\pi = \frac{4}{\sqrt{\varphi}}}$

**10.** Построим Δ*DEF*, подобный Δ*ABC*, увеличив на коэффициент линейного подобия $KL = \frac{4}{\pi}$

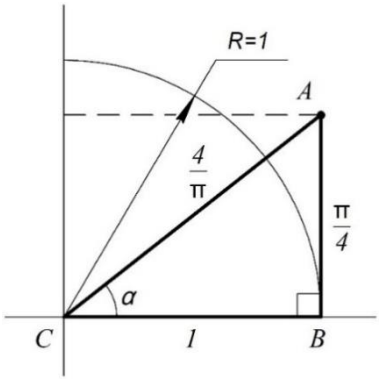



*Рис. 16*

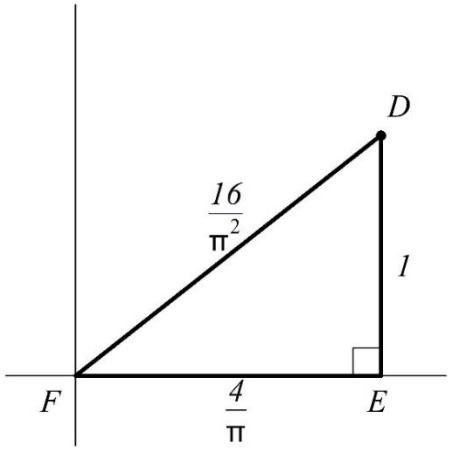



*Рис. 17*

Подставим значение $\pi = \frac{4}{\sqrt{\varphi}}$, получим:

$$FD = \frac{16}{\pi^2} = \frac{16}{\left(\frac{4}{\sqrt{\varphi}}\right)^2} = \frac{\varphi \cdot 16}{16} = \varphi$$

$$FE = \frac{4}{\pi} = \frac{4}{\left(\frac{4}{\sqrt{\varphi}}\right)} = \frac{4 \cdot \sqrt{\varphi}}{4} = \sqrt{\varphi}$$

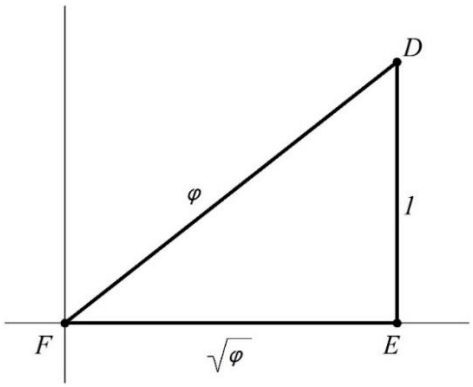



*Рис. 18*

**$\Delta DEF$ — треугольник Кеплера**

**11.** В Δ*ABC* построим высоту *BG* и рассмотрим Δ*ABG* и Δ*BGC*

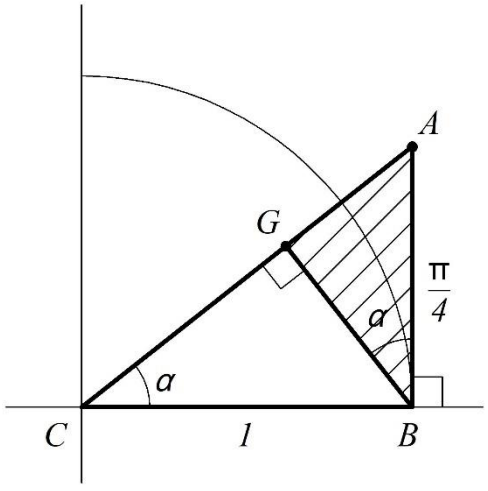



*Рис. 19*

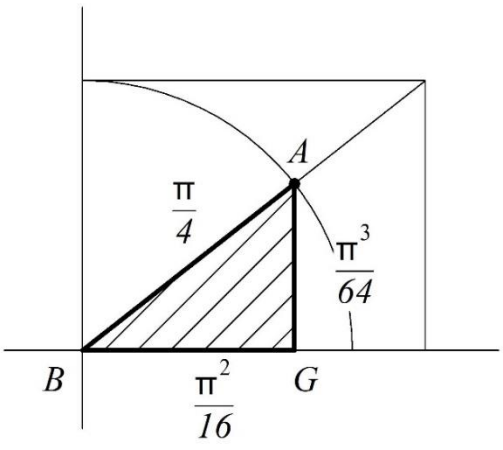



*Рис. 20*

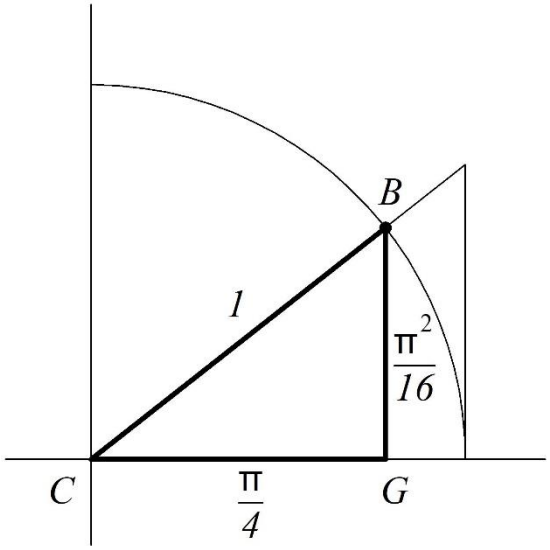



Рис. 21

$$S_{\Delta ABC} = S_{\Delta ABG} + S_{\Delta BGC}$$

получим: $\frac{\pi}{8} = \frac{\pi^3}{8 \cdot 16} + \frac{\pi^5}{8 \cdot 16^2}$

$\frac{\pi}{8} = \frac{\pi}{8} \cdot \left(\frac{\pi^2}{16}\right) + \frac{\pi}{8} \cdot \left(\frac{\pi^4}{16^2}\right)$; $1 = \frac{\pi^2}{16} + \frac{\pi^4}{16^2}$

$\frac{\pi^2}{16} = \frac{\sqrt{5}-1}{2}$ (рассчитано ранее)

$\frac{\pi^4}{16^2} = \frac{3-\sqrt{5}}{2}$ (рассчитано ранее)

$$\frac{\sqrt{5}-1}{2} + \frac{3-\sqrt{5}}{2} = \frac{\sqrt{5}-1+3-\sqrt{5}}{2} = \frac{2}{2} = 1$$

**12.** В Δ*DEF* построим высоту *EJ* и рассмотрим Δ*DEJ* и ΔEJF

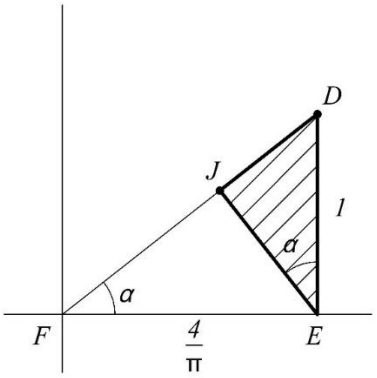



Рис. 22

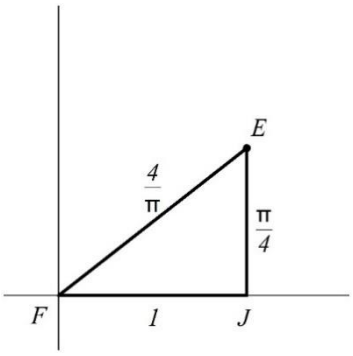



Рис. 23

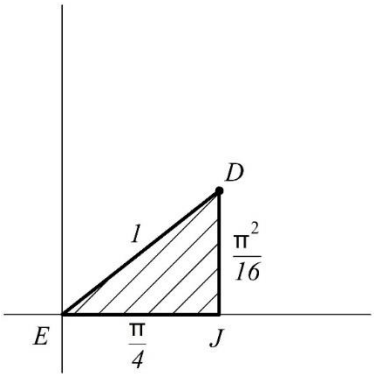


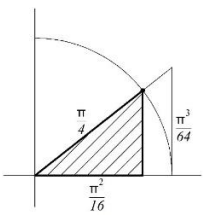

Рис. 24

$$S_{\Delta DEF} = S_{\Delta DEJ} + S_{\Delta EJF}$$

$\frac{1}{2} \cdot \frac{4}{\pi} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi^3}{4 \cdot 16}$; $\frac{2}{\pi} = \frac{\pi}{8} + \frac{\pi^3}{8 \cdot 16}$; $\frac{16^2}{64 \cdot \pi} = \frac{16\pi^2 + \pi^4}{64 \cdot \pi}$

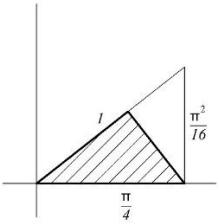
$64 \cdot \pi \neq 0$ $\pi^4 + 16\pi^2 - 16^2 = 0$ (уравнение решено ранее).

**13.** Расположим ранее найденные (изученные) треугольники по мере возрастания



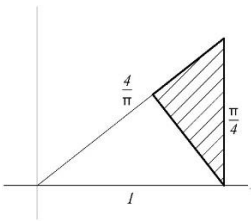

$S_1 = \frac{\pi^5}{8 \cdot 16^2}$

Рис. 25



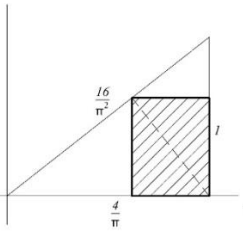

$S_2 = \frac{\pi^3}{8 \cdot 16}$

Рис. 26



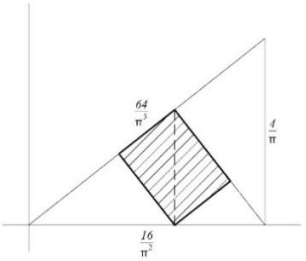

$S_3 = \frac{\pi}{8}$

Рис. 27




$S_4 = \frac{2}{\pi}$

Рис. 28




$S_5 = \frac{32}{\pi^3}$

Рис. 29

Коэффициент линейной пропорциональности $\boldsymbol{KL} = \frac{4}{\pi}$

Коэффициент пропорциональности площадей $\boldsymbol{KS} = \frac{16}{\pi^2}$

**14.** Рассмотрим элементы числовой последовательности **Фибоначчи**

**Числовая последовательность Фибоначчи: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55…**

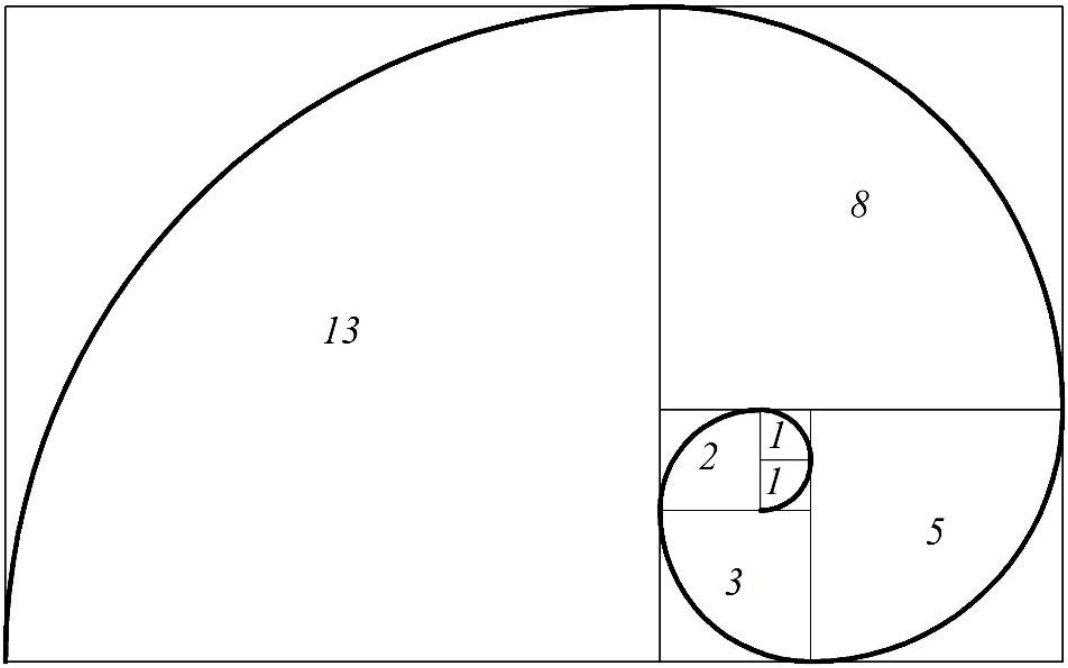



*Рис. 30*

$\frac{2}{1} \neq \frac{3}{2} \neq \frac{5}{3} \neq \frac{8}{5} \neq \frac{13}{8}$ $\qquad$ $\frac{2^2}{1^2} \neq \frac{3^2}{2^2} \neq \frac{5^2}{3^2} \neq \frac{8^2}{5^2} \neq \frac{13^2}{8^2}$

**15. Построим Гармоничную (фрактальную) Геометрическую последовательность треугольников $\Delta\ S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$…,** последовательно (по мере возрастания) сопряжёнными между собой по принципу**: «гипотенуза - катет»** с коэффициентами пропорциональности:

$\boldsymbol{KL} = \frac{4}{\pi}$ — линейный коэффициент; $\boldsymbol{KS} = \frac{16}{\pi^2}$ — коэффициент площади

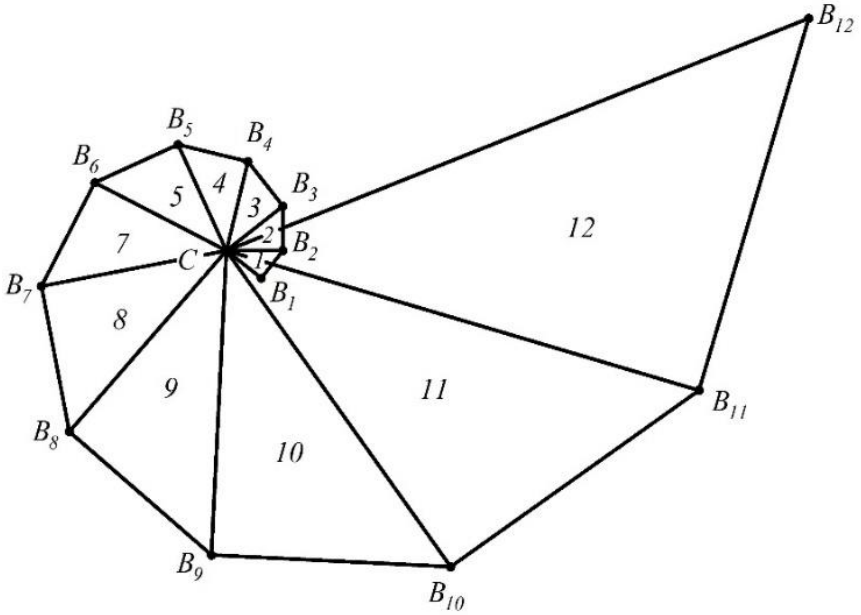



*Рис. 33*

$\frac{S_2}{S_1} = \frac{S_3}{S_2} = \frac{S_4}{S_3} = \frac{S_5}{S_4} = \frac{S_6}{S_5} = \frac{16}{\pi^2} = \boldsymbol{\varphi}$ $\qquad$ $\frac{CB_2}{CB_1} = \frac{CB_3}{CB_2} = \frac{CB_4}{CB_3} = \frac{CB_5}{CB_4} = \frac{CB_6}{CB_5} = \frac{4}{\pi} = \sqrt{\boldsymbol{\varphi}}$

**16. Построим Гармоничную (фрактальную) Геометрическую последовательность треугольников Δ $S_1$, $S_2$, $S_3$, $S_4$, $S_5$, $S_6$…,** последовательно (по мере возрастания) сопряжёнными между собой по принципу**: «катет- сумма катетов»** с коэффициентами пропорциональности:

$KL = \frac{4}{\pi}$ — линейный коэффициент; $KS = \frac{16}{\pi^2}$ — коэффициент площади

$S_1 + S_2 = S_3$
$S_2 + S_3 = S_4$
$S_3 + S_4 = S_5$ …

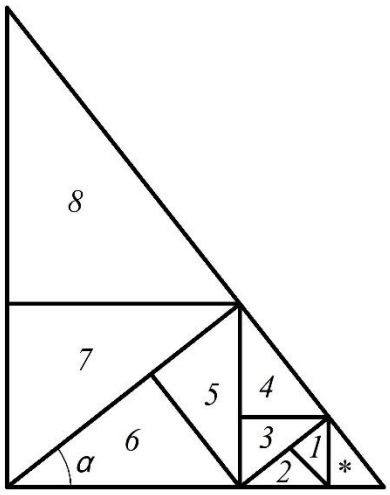



*Рис. 31*

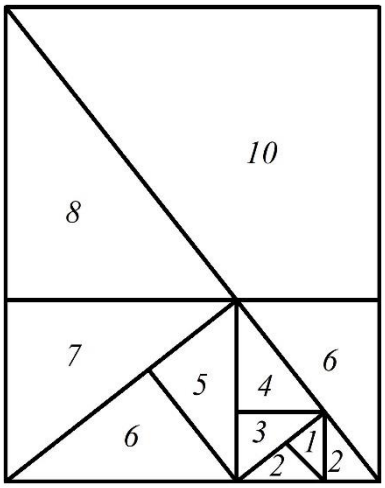



*Рис. 32*

**17. Построим Гармоничную (фрактальную) Геометрическую последовательность треугольников Δ $S_1$, $S_2$, $S_3$, $S_4$, $S_5$, $S_6$…,** последовательно (по мере возрастания) сопряжёнными между собой по принципу**: «катет- катет»** с коэффициентами пропорциональности:

$KL = \frac{4}{\pi}$ — линейный коэффициент; $KS = \frac{16}{\pi^2}$ — коэффициент площади

$S_1 + S_2 = S_3$

$S_2 + S_3 = S_4$

$S_3 + S_4 = S_5$

$S_4 + S_5 = S_6$

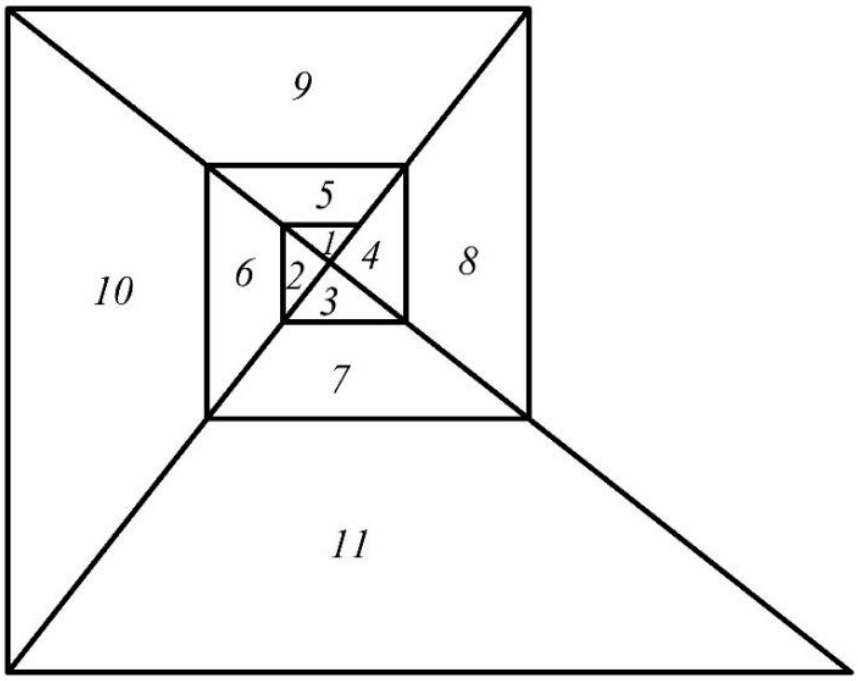



*Рис. 34*

**Выводы:**

**1.** Константа **π** (Пи) — алгебраическое число, выраженное через:

$$\pi = \sqrt{8 \cdot \sqrt{5} - 8}; \quad \pi = 4 \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{5}-1}{2}}$$

**2.** Константа **π** (Пи) может быть выражена несколькими выражениями:

$$\pi = \frac{\pi^3}{16} + \frac{\pi^5}{16^2}; \quad \pi = \frac{16}{\sqrt{16+\pi^2}}; \quad 1 = \frac{\pi \cdot \sqrt{16+\pi^2}}{16}; \quad \pi = \frac{4 \cdot \sqrt{16-\pi^2}}{\pi}; \quad \frac{\pi^2}{16} = \frac{\pi}{\sqrt{16+\pi^2}}; \quad \frac{\pi^2}{4} = \sqrt{16-\pi^2}$$

**3.** Константа **π** (Пи) связана с **золотым сечением** $\varphi$: $\pi = \frac{4}{\sqrt{\varphi}}$

**4.** Константа **π** — иррациональное число, из-за числа «$\sqrt{5}$», находящегося в выражении числа

$$\pi = \sqrt{8 \cdot \sqrt{5} - 8} \quad \text{и} \quad \pi = 4 \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{5}-1}{2}}$$

**5.** Константа **π** — кратна 2 (при умножении на ∞ бесконечность — чётное число), из-за числа «**4**», находящейся в выражении числа $\pi = 4 \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{5}-1}{2}}$

*(* Обнаруживается связь с размышлениями Галилео Галилея о неделимости бесконечности, из-за неделимости точки. Только чётное число точек может быть разделено на 2 части).*

**6.** Используя линейный коэффициент пропорциональности $KL = \frac{4}{\pi} = \sqrt{\varphi}$ и коэффициент пропорциональности площадей $KS = \frac{16}{\pi^2} = \varphi$, возможно построение фрактальных рядов (последовательностей треугольников) оригинальной формы, показывающие связь константы **π** с **золотым сечением φ**, и имеющих вычислительную, эстетическую и философскую ценность.

**7.** Истинное значение константы составляет: **π**=3,144605511029693…
Общепринятое значение: **π***=3,141592653589793…

Обратим внимание, что разница составляет приблизительно 0,003 (или 0,1%), поэтому вычисления до бесконечного знака не могут исправить ошибку, возникшую на 3-м знаке после запятой, из-за самого аппроксимативного принципа вычисления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болтянский, В.Г. Равносоставленные и равновеликие фигуры. — М. : Гостехиздат, 1956. — 64 с.
2. Васютинский, Н.А. Золотая пропорция. — М. : Молодая гвардия, 1990. — 238 с.
3. Воробьев, Н.Н. Числа Фибоначчи. — 6-е изд. — М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. — 192 с.
4. Жуков, А.В. Вездесущее число «Пи». — М. : Едиториал УРСС, 2004. — 216 с.
5. Кавальери, Б. Геометрия, изложенная новым способом при помощи неделимых непрерывного. — М. ; Л. : ГТТИ, 1940. — 414 с.
6. Кеплер, И. О шестиугольных снежинках. О гармонии Мира. Книга V / пер. с лат. Ю. А. Данилова. — М. : Наука, 1982. — 192 с.
7. Клейн, Ф. Элементарная математика с точки зрения высшей. Геометрия. Т. 2 / пер. с нем. — М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. — 560 с.
8. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы. — М. : Институт компьютерных исследований, 2002. — 656 с.
9. Радемахер, Г., Теплиц, О. Числа и фигуры. Опыты математического мышления / пер. с нем. — М. : Физматгиз, 1962. — 263 с.
10. Шевелев, И.Ш., Марутаев, М.А., Шмелев, И.П. Золотое сечение: Три взгляда на природу гармонии. — М. : Стройиздат, 1990. — 343 с.

**REFERENCES**

1. Boltyansky V.G. *Ravnosostavlennye i ravnovelikie figury* [Equivalent and Equal-Area Figures]. Moscow, Gostekhizdat Publ., 1956. 64 p. (In Russian).
2. Vasyutinsky N.A. *Zolotaya proportsiya* [The Golden Ratio]. Moscow, Molodaya Gvardiya Publ., 1990. 238 p. (In Russian).
3. Vorobiev N.N. *Chisla Fibonachchi* [Fibonacci Numbers]. 6th ed. Moscow, Nauka Publ., 1992. 192 p. (In Russian).
4. Zhukov A.V. *Vezdesushchee chislo "Pi"* [The Ubiquitous Number "Pi"]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2004. 216 p. (In Russian).
5. Cavalieri B. *Geometria, indivisibilibus continuorum nova quadam ratione promota* [Geometry, Advanced by a New Method of Indivisibles of Continua]. Moscow, Leningrad, GTTI Publ., 1940. 414 p. (In Russian; trans. from Lat.).
6. Kepler I. *De Nive Sexangula. Harmonices Mundi. Liber V* [On the Six-Cornered Snowflake. The Harmony of the World. Book V]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 192 p. (In Russian; trans. from Lat.).
7. Klein F. *Elementarmathematik vom höheren Standpunkte aus. Geometrie* [Elementary Mathematics from an Advanced Standpoint. Geometry. Vol. 2]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 560 p. (In Russian; trans. from Ger.).
8. Mandelbrot B. *The Fractal Geometry of Nature*. Moscow, Institute of Computer Science Publ., 2002. 656 p. (In Russian; trans. from Eng.).
9. Rademacher H., Toeplitz O. *Von Zahlen und Figuren* [The Enjoyment of Math / Numbers and Figures]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1962. 263 p. (In Russian; trans. from Ger.).
10. Shevelev I.Sh., Marutaev M.A., Shmelev I.P. *Zolotoe sechenie: Tri vzglyda na prirodu garmonii* [The Golden Ratio: Three Views on the Nature of Harmony]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1990. 343 p. (In Russian).

*Материал поступил в редакцию 24.09.26*

# A METHOD FOR CALCULATING THE CONSTANT π (PI) VIA THE TRANSFORMATION OF A 1/8 SEGMENT OF A UNIT CIRCLE (R=1) INTO A RIGHT TRIANGLE OF EQUAL AREA, AND THE EQUATION OF TRIANGLES FORMED BY A CIRCULAR ARC AND A TRIANGLE

**D.R. Lysiuk,** Research Engineer, Author of CUUBER® project, Inventor of CUBER® constructor, Founder LLC CUUBER (Moscow), Russia
E-mail: lysyuk.d@cuuber.com

***Abstract.*** *The article presents an original geometric method for the deductive calculation of the exact analytical value of the π constant. Based on Cavalieri's principle of indivisibles, a mathematical model has been developed for the isomorphic transformation of the area of a 1/8 segment of a unit circle into an equivalent right triangle. Through the analysis of a system of intersecting similar triangles, the author successfully derived a unified fourth-degree algebraic equation, the solution of which yields exact expressions for the π constant. The paper mathematically proves and substantiates a direct, continuous connection between the number π, the golden ratio proportion φ, and the Kepler triangle. It is demonstrated that the dynamics of the additive deployment of the areas and linear dimensions of the studied geometric figures form fractal sequences completely identical to the Fibonacci number series.*

***Keywords:*** *π number (Pi), Cavalieri's principle, similarity of triangles, fractal growth, the golden ratio φ, Kepler triangle, geometric method.*

**UDC 519.6:517.8**

# ON AUXILIARY GRID ALGORITHM WITH REGULATION OF NUMERICAL SOLUTION IN WALL VICINITY

**V.I. Pinchukov,** Doctor of Physical and Mathematical Sciences
Federal Research Centre for Information and Computational Technologies, RAS (Novosibirsk), Russia
E-mail: pinch_v_i@mail.ru, pinchvi@ict.nsc.ru

***Abstract.*** *Two grid numerical algorithm is modified to increase accuracy of skin friction coefficient calculations. Gulyaev-Kozlov-Sekundov model of turbulent viscosity is used. The implicit high resolution conservative Runge-Kutta method is applied for solving equations at main grid. Equations for turbulent viscosity and tangential velocity are solved by implicit first order method at auxiliary near wall grid. Artificial diffusion terms in these equations are constructed to provide possibility of regulation of numerical solution. Turbulent flow near plane, NASA hump flow in a channel, flow in a channel with backward facing step are calculated. Skin friction data are compared with approximate formulae data or with published data.*

***Keywords:*** *auxiliary grid, Reynolds-Averaged Navier-Stocks Equations, high resolution methods.*

## 1. Introduction

To increase accuracy of CFD modelling of large of Reynolds number flows approach dealing with wall functions is widely used. Usually these functions are based on logarithmic low for velocity. This approach allows to receive relations both for velocity boundary value and for κ-ε model dependent variables (see, for example, [4]). More complicated single low for near wall velocity is used in [11].

In many cases applicability of wall functions approach is not evident or is forbidden. For example, compressible flows may contain shock waves, which break these functions in zones of interaction of shock wave with boundary layer. Attempt to create more universal, sufficiently fast, but more complicated approach is presented in [10]. Main feature of this approach is use of auxiliary near wall grid with significantly less step in transverse direction, then step of main grid. It allows to improve accuracy of calculations near a wall. Auxiliary grid is constructed to cover region, including two near wall intervals of main grid and one additional fictitious interval beyond main grid. Since zone of auxiliary grid is much less then numerical domain, additional computations are comparatively small. At the same time this grid works in the zone of most losses of accuracy, so decreasing of solution errors in this zone allows effectively improve accuracy of solution. At last, use of fictitious interval, which is not contained in main grid, allows to remove this dangerous interval from main grid calculations and, consequently, improve accuracy of these calculations.

Present paper is devoted to development of this algorithm. Trial calculations of low Mach number turbulent flows demonstrate for Gulyaev-Kozlov-Sekundov turbulence model high sensitivity of skin friction coefficients to artificial diffusion terms, used in auxiliary grid equations. It seems that this remarkable property of auxiliary grid equations is explained by availability of near wall singularity in turbulent viscosity equation (see eq. (1), last term). Expressions and control parameters of artificial diffusion terms are chosen in calculations to get reasonable accuracy of skin friction calculation.

## 2. Auxiliary grid algorithm for solving of RANS equations

2.1. **Main and auxiliary grids construction.** Figure 1 shows main and additional grids structures for the flow in a channel with backward step. Lines *AB, DC, CE, EF* correspond to solid walls. Auxiliary grids are constructed near walls *DC, CE* and *EF* to get here higher accuracy of calculations. Points of auxiliary grid are placed at transverse coordinate lines. Increased pieces of these lines, containing auxiliary grid points, are shown in figure 1. Points of main grid are shown by squares here. Auxiliary grid covers zone, including two intervals of main grid and additional fictitious intervals beyond main grid (intervals *ab*, see figure 1).

© Pinchukov V.I. / Пинчуков В.И., 2026

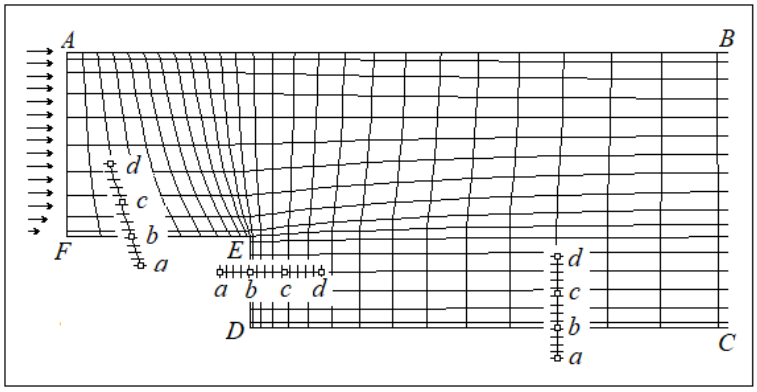



*Figure 1. Grids schematical representation in a channel with backward-facing step*

Auxiliary grid points divide interval *ad* onto *K* subintervals of the same size $h=((y(d)-y(a))^2+((x(d)-x(a))^2)^{0.5}/K$. This interval *ad* is treated as straight in present algorithm.

2.2. **Governing equations.** Standard RANS equations, added by the turbulent dynamical viscosity equation [3], are solved at main grid. Tangential velocity equation and the turbulent viscosity equation are solved at auxiliary grid. Since heat insulation condition $\partial T/\partial y=0$ is supposed to be fulfilled at solid surface, the relation $\partial T/\partial y=0$ is used through auxiliary grid zone. Boundary layer condition $\partial P/\partial y=0$ is fulfilled in this zone. At last, transverse velocity *v* is approximately defined at auxiliary grid as a result of linear interpolation from main grid.

The turbulent viscosity equation [3] in conservation law form may be written as

$$\partial \bar{\mu}/\partial t+\partial(\bar{\mu}u)/\partial x+\partial(\bar{\mu}v)/\partial y=\partial[(\bar{\mu}/\sigma+\mu)\partial(\bar{\mu}/\rho)/\partial x]/\partial x+ \quad (1)$$
$$+\partial[(\bar{\mu}/\sigma+\mu)\partial(\mu/\rho)/\partial y]/\partial y+a_c b_\nu \bar{\mu}|rot(U)|-50\bar{\mu}(0.06\bar{\mu}+\mu)/d_w^2,$$

$$a_c=0.2\max(1-8.33M_t^2,0),\ M_t=(2q)^{0.5}/c,\ q=1.5(\bar{\mu}/\rho)|rot(U)|, \quad (2)$$

$$b_\nu=(z^2+11z+13)/(z^2-11z+65),\ z=\bar{\mu}/\mu,\ \mu=\mu_\infty(p/\rho)^{3/4}, \quad (3)$$

where $\bar{\mu}$ – turbulent viscosity, $\mu$ – physical viscosity, *c* – speed of sound, $d_w$ – distance to a wall, *q* – middle energy of turbulent pulsations, σ=0.5. Coefficients $a_c$ and $b_\nu$ perform compressibility and viscosity corrections.

Boundary layer form of two governing equations are solved at auxiliary grid. Solid wall boundary conditions for boundary equations are fulfilled at new bound, namely, at end points *a* of additional grid. New time values of turbulent viscosity and tangential velocity, resulted from solving of auxiliary grid equations, are used for correction of new time values of these variables at main grid by application of weighted formulas (see next chapter).

Boundary layer form of equation (1) is written here as

$$\rho\partial(\bar{\mu}/\rho)/\partial t+\rho u\partial(\bar{\mu}/\rho)/\partial x+\rho v\partial(\bar{\mu}/\rho)/\partial y= \quad (4)$$
$$=\partial[(\bar{\mu}/\sigma+\mu)\partial(\bar{\mu}/\rho)/\partial y]/\partial y+a_c b_\nu \bar{\mu}|rot(U)|-50\bar{\mu}(0.06\bar{\mu}+\mu)/d_w^2,$$

Tangential velocity equation is written similarly. Both this equation and equation (4) do not use conservation low form.

**2.3. Numerical methods for solving of governing equations.** The implicit conservative Runge-Kutta scheme [7] is employed for solving equations at main grid. The method [7] uses third order approximations for convective terms, viscous terms are approximated with the second order, source terms are calculated with first order in time. Applications of turbulent viscosity model jointly with the method [7] are written in [8, 9].

Two equations are solved at auxiliary grid with the help of implicit first order method. Convective terms in left sides of equation (4) and tangential velocity equation are approximated by fist order upwind differences. Diffusive terms in right sides of these two equations are approximated by implicit second order in space differences. These differences deal with turbulent viscosity values $\bar{\mu}_{i+1/2}$, $\bar{\mu}_{i-1/2}$, which are calculated by third order formulas:

$$\bar{\mu}_{i+1/2}=(\bar{\mu}_{i+1}+\bar{\mu}_i)/2-(\bar{\mu}_{i+1}-2\bar{\mu}_i+\bar{\mu}_{i-1})/8,\ \bar{\mu}_{i-1/2}=(\bar{\mu}_{i-1}+\bar{\mu}_i)/2-(\bar{\mu}_{i+1}-2\bar{\mu}_i+\bar{\mu}_{i-1})/8.$$

Artificial diffusion terms $R(\bar{\mu})$ and $R(u)$ are added to right sides of turbulent viscosity and tangential velocity

equations:

$$R(\overline{\mu})=(\,(\overline{\mu}_{i+1}-\overline{\mu}_{i})|\overline{\mu}_{i+1}-\overline{\mu}_{i}|/r-(\overline{\mu}_{i}-\overline{\mu}_{i-1})|\overline{\mu}_{i}-\overline{\mu}_{i-1}|/q))d/h^{2},$$
$$R(u)=(\,(u_{i+1}-u_{i})|\overline{\mu}_{i+1}-\overline{\mu}_{i}|r-(u_{i}-u_{i-1})|\overline{\mu}_{i}-\overline{\mu}_{i-1}|q))e/h^{2}, \quad (5)$$

where $r=2\overline{\mu}_{i+1/2}/(\overline{\mu}_{i+1/2}+\overline{\mu}_{i-1/2})$, $q=2\overline{\mu}_{i-1/2}/(\overline{\mu}_{i+1/2}+\overline{\mu}_{i-1/2})$ – parameters, use of which allow to regulate numerical solution. So, first order artificial diffusion coefficients $d|\overline{\mu}_{i+1}-\overline{\mu}_{i}|/p$ and $d|\overline{\mu}_{i}-\overline{\mu}_{i-1}|/q$ are used in the turbulent viscosity equation, $e|\overline{\mu}_{i+1}-\overline{\mu}_{i}|p$ and $e|\overline{\mu}_{i}-\overline{\mu}_{i-1}|q$ are used in the tangential velocity equation. High sensitivity of numerical skin friction data to control parameters $d$ and $e$, especially to parameter $e$, is used here for regulation. Numerical results, written in chapter 3, are received for $d$=3, $e$=1.3.

Since auxiliary grid cells have sizes in transverse direction much less then sizes in tangential direction, approximations of derivatives in transverse direction significantly influence on stability of numerical method for solving of this equations. So implicit highly stable first order time discretizations are used for these derivatives. Present version of numerical algorithm contains first order upwind formulas for first space derivatives, namely, derivatives in second term in left side of equation (4) and in similar term in the tangential velocity equation. Unknown variables of auxiliary grid are found as result of solution of three point equations along transverse coordinate lines, added by boundary conditions at points $a$ and $d$ (see figure 1). There are also initial and final bounds, placed at transverse coordinate lines. Conditions at these bounds are resulted from linear interpolation by use of main grid variables.

To improve accuracy of main grid solution this solution is weighted with auxiliary grid solution. Namely, new time level $t=n\tau$ values of turbulent viscosity and tangential velocity at auxiliary grid are used for correction of these variables at main grid with help of weighted formulas:

$$F^{n}(b)=(1-w_{b})\times F(b_{b})+w_{b}\times f(b),\ F^{n}(c)=(1-w_{c})\times F(c)+w_{c}\times f(c).$$

Here $F$ – main grid variables, $f$ – auxiliary grid variables, $a$, $b$ – point of main grid (see figure 1). Since points $b$ and $c$ may distinguish from any auxiliary grid points, linear interpolation is used for $f(b)$ and $f(c)$ calculations. Weights $w_b$, $w_c$ have values less then unit to prevent instability appearance, $w_b$=0.3, $w_c$=0.15.

3. Results and discussions

Presented below numerical results are received for inflow conditions $P$=1, $\rho$=1, $\overline{\mu}=\overline{\mu}_{\infty}$, $v$=0 and condition for $u$:

$$u_{\infty}=M_{\infty}\,\gamma^{0.5} \text{ if } d_w>\theta,\ u_{\infty}=M_{\infty}\,\gamma^{0.5}\times(2-d_w/\theta)\,d_w/\theta \text{ if } d_w\le\theta,$$

where $\theta$=.01-.03 – initial boundary layer thickness. Use of this simplified condition is possible source of mistake.

3.1. **Flow near plane**. Turbulent flow with $M_{\infty}$=0.2, $\mu_{\infty}$=1e-6 near plane is studied by auxiliary grid algorithm. Domain sizes (see figure 2*a*) are $L=x(D)-x(A)=10.0$, $y(B)-y(A)=0.7$, $y(C)-y(D)=1.4$, so $Re_{\infty}=L\times M_{\infty}/\mu_{\infty}=\gamma^{0.5}$ e7. Free stream turbulent viscosity is defined as $\overline{\mu}_{\infty}$=3e-7, boundary conditions $\overline{\mu}_{w}$=3e-8, u=0 are used at fictitious point of auxiliary grid. Main grid contains 321×84 points, auxiliary grid contains 321×51 points.

Figure 2*a* shows kinematical turbulent viscosity distribution (function log10($\overline{\mu}/\rho$)), figure 2b shows skin friction distribution, which is compared with approximate formulae [1] $C_x=0.058/Re_x^{0.2}$.

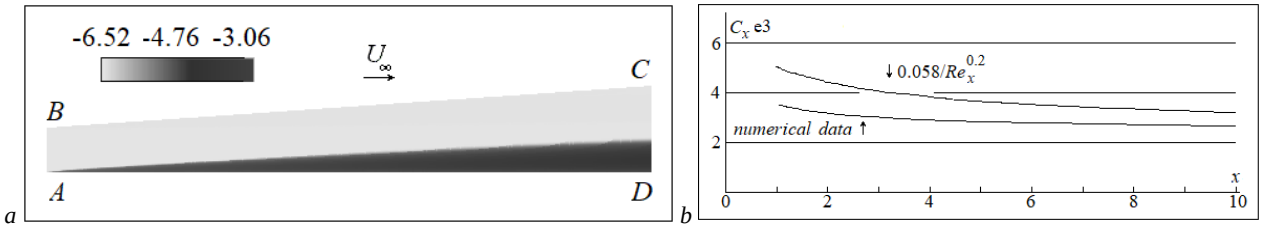



*Figure 2. Turbulent flow near plane, a – viscosity distribution, b – skin friction data*

Accuracy of presented in figure 2*b* numerical data is worse, then accuracy of data [10]. It is explained by new choice of control parameters relations (5), performed for receiving satisfactory accuracy skin friction calculations for all considered here flows.

3.2. **NASA hump flow in a channel**. Turbulent flow with $M_\infty$=0.1, $\mu_\infty = M_\infty$/9.36e-6 is studied by auxiliary grid algorithm. Domain sizes (see figure 3) are $L=x(D)-x(A)$=6.14, $y(B)-y(A)=y(C)-y(D)$=0.909524. Interval *ad* corresponds to hump, having height $h$=0.127857 and chord $c=x(d)-x(a)$=1, which results $Re_c = c\times M_\infty / \mu_\infty$ =9.36e6 [6]. Free stream turbulent viscosity is defined as $\overline{\mu}_\infty$ =1e-7, wall boundary condition $\overline{\mu}_w$ =3e-8 is used. Auxiliary grid is used only at bottom bound of the channel and contains 321×51 points. Main grid contains 321×84 points. Conditions u=v=0, $\overline{\mu}_w$ =3e-8 are used at this boundary *BC*. Hump form is written here by formulas, providing continuity of function y(x) and its first derivative:

$$\text{If } x-x(d) \le 2/3 \text{ then } y=27/4\times h\times(x-x(d))^2\times(1-x+x(d)),$$

$$\text{If } x-x(d) > 2/3 \text{ then } y=27\times 2\times h\times(x-x(d))\times(1-x+x(d))^2\times(x-x(d)-.5).$$

Use of these formulas is possible source of mistake. Figure 3 shows kinematical turbulent viscosity (function $\log10(\overline{\mu}/\rho)$) distribution.

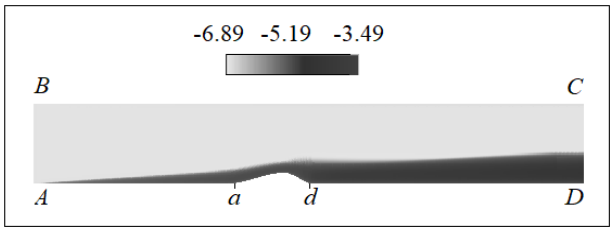



*Figure 3. Turbulent viscosity distribution*

Figure 4a shows skin friction distribution for present numerical data, figure 4b shows data [6].

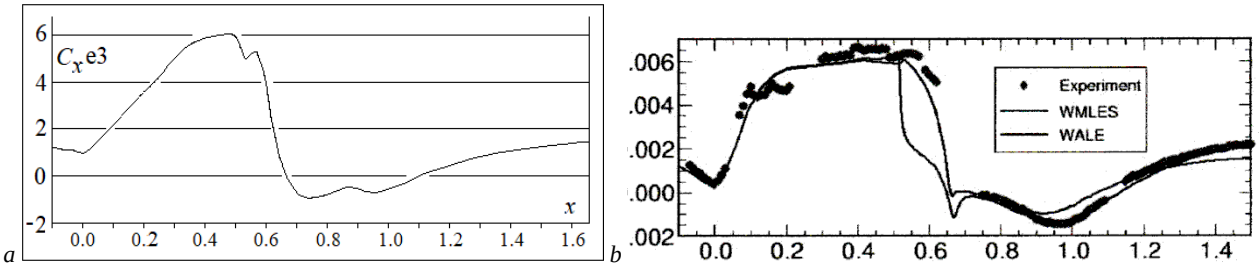



*Figure 4. Skin friction coefficient, a – present numerical data, b – data [6]*

Some details of present graphics and graphics [6] are different, but main intervals of growth or fall are similar.

**3.3. Flow in a channel with backward facing step.** Turbulent flow with $M_\infty$=0.2, $\mu_\infty = M_\infty$ e-3/28 is studied by auxiliary grid algorithm. Domain sizes (see figure 1) are $L=x(B)-x(A)$=25, $x(E)-x(F)$=4, $y(A)-y(F)$=4, step height $c$=1, so the relation $Re_c = M_\infty c/\mu_\infty$ =28e3 [6] takes place. Free stream turbulent viscosity is defined as $\overline{\mu}_\infty$ =3e-7, wall boundary condition $\overline{\mu}_w$ =3e-8 is used. Main grid contains 425×171 points. Auxiliary grids are used near boundaries FE, ED, DC. These grids contain 101×51, 71×51, 325×51 points, correspondingly.

Figure 5 shows present skin friction coefficient distributions at dawn surface of the channel, figures 6*a* and 6*b* show published in [5] and [2] skin friction data.

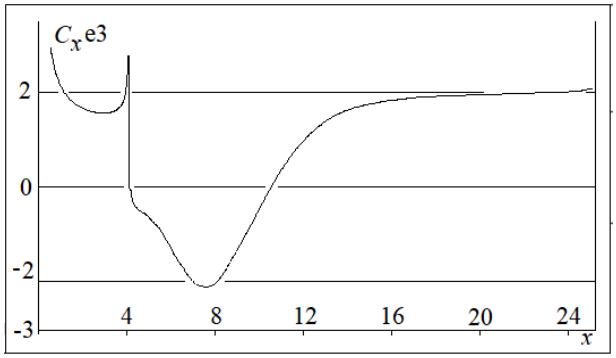



*Figure 5. Skin friction coefficient for present numerical data*

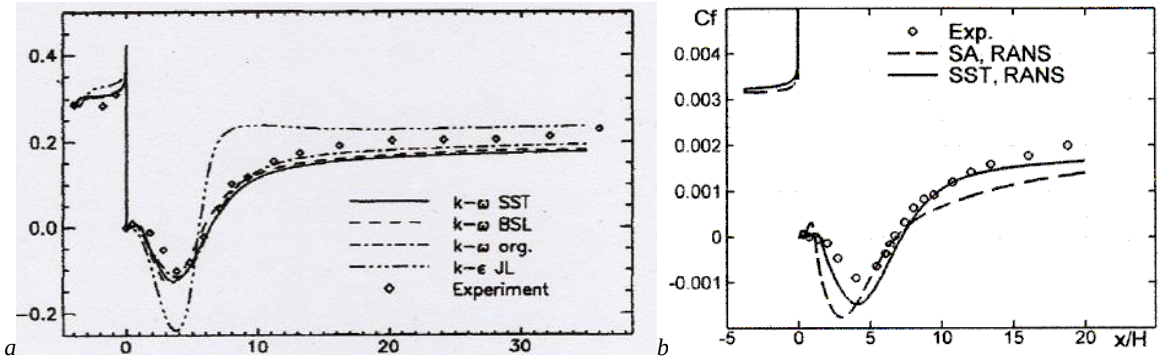



*Figure 6. Published skin friction distributions, a – [5], b – [2]*

Significant difference of present and published data in left sides of graphics, corresponding to interval *FE* (see figure 1) between start point and backward facing step, may be explained by simplified initial boundary conditions, used here. It may be seen, that present data past channel step are in agreement with Spalart-Almares model data, marked as *SA* in figure 6*b*.

4. Conclusions

Turbulent flow near plane, NASA hump flow in a channel, flow in a channel with backward facing step are calculated. Gulyaev-Kozlov-Sekundov model of turbulent viscosity is used. This model is seemed to be oriented on compressible jets modelling and does not allow to predict skin friction coefficients. Particularly, if to use relations $R(\overline{\mu})=0$, $R(u)=0$ for artificial diffusion terms in auxiliary grid equations, mistakes of skin friction coefficient calculation are observed as multiple skin friction coefficient. So, constructed here expressions for $R(\overline{\mu})$, $R(u)$ (formulas (5)) allow to get reasonable accuracy of skin friction prediction by Gulyaev-Kozlov-Sekundov model, at least, for considered here flows.

Two grid algorithm provides possibility to use first order artificial diffusion only in auxiliary grid equations while solving of main grid equations is performed with third order of accuracy. Use of auxiliary grid allows to weaken limitation for parameter $y_+$ and to avoid excessive computational time necessary for large Reynolds flows modeling. Present two grid algorithm requires computational time, which is about 1.1-1.2 of computational time of usual one grid algorithm for the same number of time steps.

## REFERENCES

1. Абрамович, Г.Н. Прикладная Газовая Динамика. 3-е издание. – Москва, изд. Наука. – 1969, гл.6, – с. 306.

2. Гарбарук, А.В., Стрелец, М.Х., Шур, М.Л. Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений: учебное пособие. – СПб: Изд-во Политехн. Ун-та, 2012. – 88 с.

3. Гуляев, А.Н., Козлов, В.Е., Секундов, А.Н. К Созданию Универсальной Однопараметрической Модели Для Турбулентной Вязкости Для Описания Течения В Струе Сжимаемого Газа // Изв. АН, МЖГ-1993, N4. – с. 69-81.

4. Celik Ismail, B. Introductory Turbulence Modeling. Lecture Notes. Chapter 9. December 1999. West Virginia University. Morgantown.

5. Menter, F.R. Two Equation Eddy Viscosity Turbulence Models For Engineering Applications. AIAA Journal, V. 32, No 8. – 1994.

6. Menter, F.R. Best Practice: Scale-Resolving Simulations in ANSYS CFD Version 1.0 ANSYS Germany GmbH, 70pp.

7. Pinchukov, V.I. Numerical Solution of the Equations of Viscous Gas by an Implicit Third Order Runge-Kutta Scheme, Comput. Mathem. and Mathem. Physics, Vol. 42(6), 2002, 898-907.

8. Pinchukov, V.I. On Application Of Turbulent Viscosity Model for Calculations Of Self-Oscillatory Supersonic Flows Near The Pair Open Tube – Inner Cylinder. The way of science, N 12(118), December 2023, pp. 8-11.

9. Pinchukov, V.I. Turbulent Viscosity Model Calculations Of Supersonic Flows Near A Cylinder Butt-End, Giving Off An Opposite Jet. The way of science, N 11(129), November 2024, pp. 8-12.

10. Pinchukov, V. I., Auxiliary Grid Numerical Algorithm For Solving Equations Of Turbulent Viscosity Model. The way of science, N 7(137), July 2025, pp. 6-10.

11. Spolding, D.V. A Single Formulae For The Low Of The Wall. // J. Appl. Mech., Vol. 28, 1961, pp. 455-457.

*Материал поступил в редакцию 21.09.26*

# ОБ АЛГОРИТМЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ СЕТКИ И РЕГУЛИРОВАНИЕМ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТИ СТЕНКИ

**В.И. Пинчуков,** доктор физико-математических наук
Федеральный Исследовательский Центр Информационных и Вычислительных Технологий, РАН
(Новосибирск), Россия
E-mail: pinch_v_i@mail.ru, pinchvi@ict.nsc.ru

***Аннотация***. *Двухсеточный численный алгоритм совершенствуется с целью повышения точности расчета локального коэффициента сопротивления. Используется модель турбулентности Гуляева-Козлова-Секундова. Для решения уравнений на основной сетке применяется неявный консервативный метод Рунге-Кутты высокого разрешения. Уравнение для турбулентной вязкости и уравнение для тангенциальной компоненты скорости решаются на вспомогательной пристенной сетке с помощью неявной схемы первого порядка. Члены с искусственной диффузией в этих уравнениях конструируются с целью создания возможности регулирования численного решения вблизи стенки. Рассчитываются турбулентное течение возле полуплоскости, течение NASA в канале с донным возвышением, течение в канале с обратным уступом. Расчетные данные по коэффициенту трения сравниваются с данными, получаемыми по приближенной формуле, или с опубликованными данными.*

***Ключевые слова:*** *вспомогательная сетка, осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса, методы высокого разрешения.*

## Biological sciences
## Биологические науки

**UDC 57**

# APPLICATION OF PROBIOTICS AND ENZYMES IN MODERN DAIRY TECHNOLOGY

**D.Sh. Sultonov,** Doctor of Philosophy (PhD) in biological sciences
Fergana State University (Fergana), Uzbekistan

***Abstract.*** *This article investigates the application of probiotics and enzymes in modern dairy technology. The study shows that dairy products enriched with Lactobacillus and Bifidobacterium strains enhance the organoleptic quality, texture, and probiotic activity of cheese and yogurt. Enzymes (rennin, lipase, lactase) help stabilize acidity and optimize the fermentation process. During storage, probiotic counts remain relatively stable, preserving the functional properties of the products.*

***Keywords:*** *probiotics, enzymes, dairy products, yogurt, cheese, biotechnology, fermentation, Lactobacillus, Bifidobacterium, organoleptic quality, acidity, stability*.

**Introduction**

Milk and dairy products are an essential component of the human diet, and improving their quality and functional properties is one of the relevant research areas in biotechnology [8, 4067–4078]. In recent years, the application of probiotics and enzymes has been recognized as an important approach not only to improving the organoleptic properties of dairy products but also to enhancing their health-promoting benefits [7].

Probiotic microorganisms help maintain the balance of the intestinal microbiota, strengthen the immune system, and improve digestive processes [2]. At the same time, enzymes play an important role in accelerating fermentation processes in dairy products, improving their texture and flavor, and enabling the development of new functional properties [3]. Different enzyme strains and their optimal concentrations directly influence product quality and stability; therefore, their selection and application require a scientifically sound approach [4, 106–117].

In modern dairy technology, the application of probiotics and enzymes also creates innovative opportunities in terms of both health promotion and industrial development. In this context, the present article aims to analyze the role of probiotics and enzymes in dairy products, their biotechnological applications, and the health-related and industrial significance of this approach.

**Literature review and methodology**

In this study, standard scientific methods were used to prepare and analyze dairy products containing probiotics and enzymes. The primary materials included fresh cow's milk, the probiotic strains Lactobacillus acidophilus and Bifidobacterium bifidum, as well as the enzymes rennin, lipase, and lactase [10, 1, 271–281].

The milk was heated to 85°C and pasteurized for 15 minutes. It was then cooled to 40°C, after which probiotic starter cultures and enzymes were added. Fermentation was carried out in yogurt and cheese samples at temperatures ranging from 37 to 42°C for 6–12 hours. During fermentation, the pH and acidity levels were regularly measured using pH monitoring and titration methods [4, 106–117; 5, 151–175].

The microbiological composition of the prepared products, the viability of probiotic strains, and the effects of enzymes were evaluated using standard laboratory methods. The colony-counting method, expressed as colony-forming units per milliliter (CFU/mL), was used to determine probiotic viability. In addition, the organoleptic properties of the products, including taste, texture, and color, were assessed by a trained sensory panel [9, 607].

Each type of product was prepared in at least three replicates, and the results were reported as mean values. The experiments compared the effects of different combinations of probiotic strains and enzyme concentrations on product quality, fermentation rate, and probiotic activity [6, 1–7].

This methodology enabled a systematic and scientifically grounded investigation of the application of probiotics and enzymes in dairy products and their effects on product quality and functional properties.

Results and Discussion

The results of the experimental studies showed that the number of probiotics in yogurt and cheese samples enriched with Lactobacillus acidophilus and Bifidobacterium bifidum increased significantly, depending on the type and duration of the fermentation process. When probiotic starter cultures were added to pasteurized milk and fermentation was carried out at temperatures ranging from 37 to 42°C, optimal bacterial colonization was achieved within 8 hours.

The application of enzymes (rennin, lipase, and lactase) helped maintain stable acidity and pH levels, while producing a smooth and elastic texture in yogurt and cheese. According to the results of the organoleptic evaluation, the

© Sultonov D.Sh. / Султонов Д.Ш., 2026

enzyme-enriched samples received higher ratings in terms of taste, texture, and color. Furthermore, probiotic activity was maintained until the end of the fermentation process, thereby enhancing the functional properties of the products.

*Table 1*

**Probiotic colony counts and pH levels according to fermentation type**

| Product type | Fermentation temperature (°C) | Fermentation time (h) | Probiotic count (CFU/mL × $10^8$) | pH level |
|---|---|---|---|---|
| Yogurt (L. acidophilus) | 40 | 8 | 9.2 | 4.5 |
| Yogurt (B. bifidum) | 40 | 8 | 8.8 | 4.6 |
| Cheese (L. acidophilus + rennin) | 37 | 10 | 8.5 | 5.0 |
| Cheese (B. bifidum + lipase) | 37 | 10 | 8.3 | 5.1 |

The discussion revealed that the combination of probiotics and enzymes has a significant effect on product quality. Among the yogurt samples, fermentation with the *L. acidophilus* strain resulted in the highest probiotic activity. In the cheese samples, the addition of rennin and lipase improved texture and stabilized acidity levels. These findings are consistent with previous studies.

Furthermore, the combined application of probiotics and enzymes was found to be effective in enhancing the functional and organoleptic properties of dairy products. This finding confirms the importance of biotechnological approaches in modern dairy technology, as they help optimize the health-promoting properties and quality parameters of dairy products.

Experimental studies also demonstrated that probiotic counts and pH levels remained relatively stable during storage in yogurt and cheese samples treated with probiotics and enzymes. When yogurt samples were stored at +4°C for 14 days, probiotic colony activity decreased by only 10–12%. In cheese samples, probiotic activity declined by 8–10% after 21 days of storage. These findings indicate that the combination of probiotics and enzymes can contribute to improved product stability during storage.

*Table 2*

**Probiotic colony counts and pH levels during storage**

| Product type | Storage period (days) | Probiotic count (CFU/mL × $10^8$) | pH level |
|---|---|---|---|
| Yogurt (L. acidophilus) | 0 | 9.2 | 4.5 |
| Yogurt (L. acidophilus) | 7 | 8.7 | 4.5 |
| Yogurt (L. acidophilus) | 14 | 8.1 | 4.6 |
| Cheese (B. bifidum + lipase) | 0 | 8.3 | 5.1 |
| Cheese (B. bifidum + lipase) | 14 | 7.7 | 5.1 |
| Cheese (B. bifidum + lipase) | 21 | 7.5 | 5.2 |

The results indicate that the combination of enzymes and probiotics helps maintain relatively high probiotic activity throughout the storage period. At the same time, pH levels remain relatively stable, without adversely affecting the organoleptic properties of the products. These findings are also consistent with previously published studies.

**Conclusion**

The results of this study demonstrate that the combined application of probiotic microorganisms and enzymes significantly improves the quality, texture, and functional properties of dairy products. In yogurt and cheese samples, the addition of the probiotic strains Lactobacillus acidophilus and Bifidobacterium bifidum, together with enzymes (rennin, lipase, and lactase), helps maintain probiotic activity, stabilize pH levels, and enhance the organoleptic properties of the products.

Storage studies revealed that the optimal combination of enzymes and probiotics contributes to the long-term stability of dairy products. Furthermore, the minimal decline in probiotic counts and the stability of pH levels help preserve the functional and health-promoting properties of the products.

The findings confirm the effectiveness of the biotechnological application of probiotics and enzymes in modern dairy technology and demonstrate their importance as tools for improving product quality and functional properties on an industrial scale. Therefore, this approach offers considerable potential for enhancing the innovative and functional characteristics of dairy products while providing additional health-related value to consumers.

**REFERENCES**

1. El-Sohaimy, S.A., El-Saadony, M.T., Abo-Elnaga, A.M. (2015). Probiotic cultures in dairy products: A review. International Journal of Dairy Technology, 68(3), 271–281.
2. FAO/WHO. (2002). Guidelines for the evaluation of probiotics in food. Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization.
3. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney, P.L.H. (2017). Fundamentals of Cheese Science. Springer.
4. Gänzle, M.G. (2015). Lactic metabolism revisited: metabolism of lactic acid bacteria in food fermentations and health. Current Opinion in Food Science, 2, 106–117.
5. Patrignani, F., Lanciotti, R. (2016). Applications of lactic acid bacteria in the food industry. In Food Biotechnology (pp. 151–175). Springer.

6. Ranadheera, C.S., Baines, S.K., Adams, M.C. (2010). Importance of food in probiotic efficacy. Food Research International, 43(1), 1–7.
7. Sanders, M.E. (2011). Impact of probiotics on colonizing microbiota of the gut. Journal of Clinical Gastroenterology, 45(Suppl), S115–S119.
8. Singh, R., Sharma, S. (2020). Probiotics and fermented dairy products: An overview of functional and therapeutic applications. Journal of Food Science and Technology, 57(12), 4067–4078.
9. Sodini, I., Bianchi, D., Rosi, I. (2020). Functional dairy products: Probiotics and bioactive compounds. Foods, 9(5), 607.
10. Tamime, A.Y., Robinson, R.K. (2007). Science and Technology. Woodhead Publishing.

*Материал поступил в редакцию 20.10.26*

# ПРИМЕНЕНИЕ ПРОБИОТИКОВ И ФЕРМЕНТОВ В СОВРЕМЕННОЙ МОЛОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**Д.Ш. Султонов,** доктор философских наук
Ферганский государственный университет (г. Фергана), Узбекистан

***Аннотация.*** *В данной статье исследуется применение пробиотиков и ферментов в современных молочных технологиях. Исследование показывает, что молочные продукты, обогащенные штаммами Lactobacillus и Bifidobacterium, повышают органолептическое качество, текстуру и пробиотическую активность сыра и йогурта. Ферменты (реннин, липаза, лактаза) помогают стабилизировать кислотность и оптимизировать процесс ферментации. Во время хранения количество пробиотиков остается относительно стабильным, сохраняя функциональные свойства продуктов.*

***Ключевые слова:*** *пробиотики, ферменты, молочные продукты, йогурт, сыр, биотехнологии, ферментация, Lactobacillus, Bifidobacterium, органолептическое качество, кислотность, стабильность.*

## Technical sciences
## Технические науки

**УДК 721.011.12**

# АРХИТЕКТУРНАЯ АДАПТАЦИЯ ХРАМОВЫХ ЗДАНИЙ В СССР: КОНСТРУКТИВНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ

**А.В. Смыкова[1], Г.В. Коренькова[2], Н.А. Митякина[3]**
[1] студент 4 курса бакалавриата, [2] доцент, [3] кандидат технических наук, доцент
[1-3] Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (г. Белгород), Россия

***Аннотация.*** *Здания храмов следует рассматривать не только как произведения архитектуры, но и как сооружения, архитектура которых отвечает содержанию. Этот принцип изначально закладывается в замысел культовых объектов. В статье проанализированы варианты трансформации храмовых зданий с изменением их функциональности, что, как правило, повлекло за собой существенное вмешательство в их пространственную организацию. Эти процессы были вызваны изменением общественно-политического уклада России.*

***Ключевые слова:*** *трансформация, внутреннее пространство, архитектурная оболочка, функциональность, приспособление.*

В период становления и развития советской власти на территории России произошли социальные перемены, повлекшие за собой секуляризацию. Этот процесс поддерживался активным закрытием православных храмов, а зачастую и их разрушением. Нужно отметить, что на протяжении всей истории православной Руси храмовые сооружения, как правило, представляли собой лучшие достижения строительного искусства, повлиявшие на ход развития архитектуры [7]. Кроме того, культовые сооружения занимали доминирующее положение в застройке городов и сельских поселений.

Несколько позже уцелевшие храмы стали приспосабливать под новые функции. Процесс адаптации культовых сооружений оказался сложным, поскольку их архитектурная организация изначально была подчинена специфическому функциональному и пространственному сценарию. Храм формируется как единый архитектурный организм, в котором планировочная схема, конструктивная система, вертикальная композиция и характер освещения связаны между собой [1]. Тем не менее в советский период многие культовые здания после прекращения богослужебного использования получили новые функции. В них размещались склады, производственные мастерские, учреждения культуры, кинотеатры, музеи, клубы и различные административные организации. Изменение назначения нередко сопровождалось существенным вмешательством в пространственную организацию здания [8].

Специфика храмовой архитектуры во многом определяет возможности её дальнейшей адаптации. Ключевую роль играют большая высота помещений, крупные центральные объёмы, сводчатые и купольные конструкции, вертикальность композиции, ограниченное число входов [1].

Для реконструкции сооружения наиболее важной характеристикой является соотношение горизонтальной и вертикальной организации внутреннего объёма. С учётом специфики внутреннего пространства его восприятие строится на визуальной связи пола, стен, свода или купола. Устройство промежуточного перекрытия в таком помещении меняет первоначальный характер пространства.

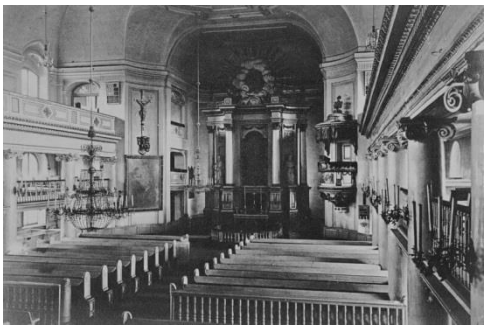
При приспособлении храмов под административные или производственные функции возникала необходимость преобразования наоса. Это осуществлялось путём устройства перегородок, дополнительных перекрытий и новых коммуникационных связей. В результате первоначальная пространственная структура существенно изменялась [8].

При этом здания с крупным бесстолпным или зальным пространством часто оказывались более удобными для общественных функций, требующих значительной площади единого помещения. Одним из показательных примеров адаптации исторического культового сооружения является лютеранская церковь Святой Анны в Санкт-Петербурге (рис. 1), построенная во второй половине XVIII века по проекту архитектора Ю. М. Фельтена. Здание представляет собой архитектурный памятник в стиле раннего классицизма [3].

После закрытия церкви в советский период здание было преобразовано под кинотеатр «Спартак». Проект реконструкции выполнялся архитекторами А. И. Гегелло и Л. С. Косвеном. С архитектурной точки зрения данное преобразование интересно прежде всего характером использования существующего объёма. Для кинотеатра требуется крупное помещение, способное вместить зрительный зал и зону демонстрации изображения. Поэтому исходная пространственная структура церкви оказалась функционально пригодной для нового назначения.

© Смыкова А.В., Коренькова Г.В., Митякина Н.А. / Smykova A.V., Korenkova G.V., Mityakina N.A., 2026

*а*



*б*

*в*

*Рис. 1. Лютеранская церковь Святой Анны, Санкт-Петербург:*
*а – современный общий вид, 2020 г; б – внутреннее убранство, 1860-е годы; в – кинотеатр «Спартак», 1985 год*

В данном случае основным принципом стало приспособление существующего объёма к новой общественной функции, а не полное изменение пространственной схемы. Внутреннее пространство получило новое функциональное содержание, однако сама архитектура крупного зала сохранила значение основы реконструкции [3].

Этот пример позволяет сделать вывод о зависимости степени архитектурного вмешательства от пространственной совместимости исторического здания и новой функции. Если новая функция предполагает единое помещение большого объёма, первоначальная структура может быть сохранена в большей степени.

Таким образом, адаптация церкви Святой Анны представляет собой вариант относительно рационального использования исторического пространства, при котором архитектурная оболочка здания становится основой для нового общественного объекта.

Особый интерес представляет Николо-Кремлёвская церковь во Владимире (рис. 2) – памятник архитектуры XVIII века, относящийся к типу бесстолпных посадских храмов. Именно эта пространственная характеристика впоследствии оказалась важной для приспособления здания под планетарий [2].

*а*

*б*

*Рис. 2. Николо-Кремлёвская церковь, Владимир: а – общий вид, 2026 г.; б – звёздный зал планетария*

Адаптация храма не потребовала радикального дробления внутреннего пространства. Основной объём сохранялся как единое помещение. Новая функция была организована преимущественно за счёт установки

специализированного оборудования. С архитектурной точки зрения данный случай является особенно интересным: планетарий требует затемнённого помещения значительной высоты и пространства, позволяющего воспринимать проекцию на купольной поверхности экрана.

Таким образом, между первоначальной и новой функциями возникла своеобразная пространственная совместимость. Данный объект демонстрирует модель адаптации, при которой историческая архитектура не столько преобразуется, сколько используется в качестве пространственной основы для новой функции.

Более сложную модель архитектурной трансформации представляет церковь Николая Чудотворца в Новой Слободе в Москве (рис. 3). Предположительно начало строительства – вторая половина XVII века. С течением времени храм много раз перестраивался и достраивался.

Современный облик здания сформировался в результате значительных перестроек начала XX века и последующих преобразований советского периода. В 1930-е годы храм был закрыт, после чего его архитектура подверглась существенным изменениям. В здании планировалось разместить музей атеизма, однако впоследствии помещения были переданы киностудии «Союзмультфильм», которую она занимала до 2017 года [5].

Производственная деятельность, встраиваемая в существующий храм, требовала значительного количества рабочих помещений. Ввиду этого внутренняя организация здания была существенно перепланирована. В исторический объём добавили новые помещения, инженерные системы и коммуникации. Историко-архитектурное обследование показало, что от первоначального сооружения сохранились лишь отдельные элементы, а внутренняя структура здания была сильно перестроена [5]. Главным показателем служит возведение пятиэтажного объема, который кардинально поменял восприятие храмовой архитектуры (рис. 3). Поэтому этот объект можно считать самым показательным примером трансформации среди всех рассмотренных. Исторический храм утратил роль самостоятельного архитектурного организма и превратился в часть многофункционального производственного комплекса.

*а* *б*

*Рис. 3. Церковь Николая Чудотворца в Новой Слободе, Москва: а – общий вид, 1910 г.; б – общий вид, 2016 г.*

Церковь Спаса Преображения на Песках в Москве – ещё один наглядный пример влияния производственной функции на архитектуру. В здании с 1956 года находилось кукольное отделение студии «Союзмультфильм». Адаптация храма привела к значительной перестройке его внутреннего пространства. Главный объем был разбит на два этажа. Тем самым вертикально ориентированное пространство храма преобразовалось в комплекс рабочих помещений. Устройство дополнительного перекрытия является одним из наиболее существенных видов вмешательства. Первоначально внутреннее пространство храма воспринималось как единый вертикальный объём. После устройства промежуточного этажа эта связь была нарушена.

Таким образом, произошла трансформация сразу нескольких параметров архитектуры: изменилось соотношение высоты и ширины основного помещения; исчезло первоначальное восприятие единого внутреннего объёма; возникло горизонтальное функциональное разделение; алтарная часть получила хозяйственное назначение; инженерная и производственная функция стали определять внутреннюю организацию пространства [6].

Особенно интересным является сопоставление внутреннего и внешнего состояния здания. В 1960-е годы проводилась реставрация внешнего облика храма, в то время как внутри продолжала существовать производственная структура. Таким образом, возникло своеобразное разделение архитектуры на историческую внешнюю оболочку и функционально изменённый интерьер.

Этот случай показывает, что сохранение фасада само по себе не означает сохранения архитектурной целостности памятника. Для храмовой архитектуры внутреннее пространство имеет не меньшее значение, чем

внешний силуэт, поскольку именно взаимосвязь интерьера, конструкций и вертикальной композиции определяет характер сооружения.

Церковь Рождества Пресвятой Богородицы в Путинках (рис. 5) относится к выдающимся памятникам московской архитектуры XVII века. Храм был построен в 1649-1652 годах и представляет собой сложную композицию, включающую основной четверик, придел, трапезную и шатровую колокольню.

*а* *б*

*Рис. 5. Церковь Рождества Богородицы в Путинках, Москва, 2020 г.: а – общий вид; б – интерьер*

После закрытия церкви в 1938 году её помещения использовались для контор, а позднее здесь размещалась репетиционная база московской дирекции «Цирк на сцене» [4]. С точки зрения архитектурной адаптации этот пример существенно отличается от производственного использования подобных сооружений. Цирковая функция требовала не столько дробления пространства, сколько наличия свободных зон для репетиций. Поэтому ценным функциональным ресурсом здания становились существующие объёмы помещений. Вместе с тем использование здания для репетиционной деятельности приводило к утрате первоначального характера интерьеров.

В дальнейшем архитектурная ценность сооружения стала определять уже противоположный процесс – реставрацию. В 1959–1960 годах под руководством архитектора Н. Н. Свешникова была проведена реставрация храма [4].

Данный объект особенно важен для понимания обратимости архитектурных преобразований. Если устройство временных или относительно лёгких функциональных элементов может быть устранено, то утрата первоначальных конструкций и художественного оформления компенсируется значительно сложнее.

Церковь в Путинках демонстрирует переход от функционального приспособления к реставрационной модели, при которой основной целью становится восстановление исторической архитектуры.

Рассмотренные примеры показывают, что приспособление храмовых зданий в СССР представляло собой процесс изменения архитектурной системы сооружения. Оно затрагивало не только назначение помещений, но и их взаимосвязь, конструктивную организацию, вертикальную композицию и характер внутреннего пространства. Наиболее устойчивыми к функциональной трансформации оказались крупные единые объёмы.

Наиболее глубокие изменения происходили при размещении производственных функций. Архитектурная оболочка здания при этом могла сохраняться, даже если интерьер перестраивался практически полностью. Для современной охраны наследия это принципиальная проблема, так как сохранение фасадов не гарантирует сохранения архитектурной целостности памятника. Опыт советского периода позволяет увидеть в бывших храмовых зданиях своего рода объекты архитектурного эксперимента.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов, С.В. Развитие структуры архитектурного пространства православия в России // Architecture and Modern Information Technologies, 2023. – № 1 (62). – С. 139-149.

2. Гарскова, К.Д. Церковная архитектура Владимира XVIII ВЕКА // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. №3-2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tserkovnaya-arhitektura-vladimira-xviii-veka (дата обращения: 29.09.2026).

3. Довгарь, О.В. Лютеранские церкви Санкт-Петербурга в русско-немецком культурном диалоге первой половины XVIII в. // Вестник СПбГИК. 2022. №1 (50). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/lyuteranskie-tserkvi-sankt-peterburga-v-russko-nemetskom-kulturnom-dialoge-pervoy-poloviny-xviii-v (дата обращения: 29.09.2026).

4. Памятники архитектуры Москвы. Том 5. Территория между Садовым кольцом и границами города XVIII века / Ред. Комеч А. И. – Москва: Искусство, 1990. – 424 с.

5. Храм Николая Чудотворца в Новой слободе. Музей атеизма. Студия «Союзмультфильм» и снова Храм. URL: https://adamashek.livejournal.com/39081.html?ysclid=mv2self2ak782144818 (дата обращения: 29.09.2026).

6. Храм Преображения Господня на Песках. URL: http://www.patriarchia.ru/db/text/174246.html (дата обращения: 30.09.2026).

7. Черныш, Н.Д. Храмы: проектирование, реконструкция, восстановление: монография / Н. Д. Черныш, Г. В. Коренькова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 100 с.

8. Щенков, А.С. Реконструкция исторических городов: учебное пособие в 2 частях / А. С. Щенков; Московский архитектурный ин-т (гос. акад.). – Москва: Памятники исторической мысли, 2013. – 419 с.

*Материал поступил в редакцию 10.10.26*

## ARCHITECTURAL ADAPTATION OF TEMPLE BUILDINGS IN THE USSR: STRUCTURAL AND FUNCTIONAL-PLANNING TRANSFORMATIONS

**A.V. Smykova[1], G.V. Korenkova[2], N.A. Mityakina[3]**

[1] Student of 4th Undergraduate Course, [2] Associate Professor, [3] Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

[1-3] Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Belgorod), Russia

***Abstract.*** *Temple buildings should be considered not only as works of architecture, but also as structures whose architecture meets the content. This principle is initially laid in the idea of cult objects. The article analyzed the transformation options for temple buildings with a change in their functionality, which, as a rule, entailed significant interference in their spatial organization. These processes were caused by a change in the socio-political structure of Russia.*

***Keywords:*** *transformation, internal space, architectural shell, functionality, adaptation.*

## Economic sciences
## Экономические науки

**УДК 330**

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКИ ДОБЫВАЮЩИХ НЕФТЯНЫХ, ВОДЯНЫХ И УРАНОВЫХ СКВАЖИН

**Т. Аджибаев,** магистр экономических наук
Международный Таразский университет имени Шерхана Муртазы (Тараз), Республика Казахстан

***Аннотация.*** *В статье рассматривается эффективность применения обратной промывки для очистки забоя от песка (фильтра) добывающих нефтяных, водяных и урановых скважин. Рассмотрены основные параметры процесса: состав, давление, продолжительность операции. Результаты показывают, что правильно подобранный режим обратной промывки способствует выносу механических примесей с забоя, восстановлению проходимости фильтра и повышению стабильности добычи скважин.*

***Ключевые слова:*** *обратная промывка нефтяных, водяных и урановых скважин, очистка забоя, призабойная зона пласта, насосно-компрессорные трубы, механические примеси, песчаные пробки скважины, технологическая эффективность, эксплуатация нефтяных, водяных и урановых скважин.*

**Введение**

**Актуальность темы.**

Традиционный подход — вынос песка методом желонки — морально устарел; затраты времени на спускоподъемные операции, отсутствие обеспечения качества очистки забоя и наличие экологических рисков требуют пересмотра. Следует также отметить, что на фоне роста доли трудноизвлекаемых запасов и старения действующего фонда скважин поддержание их дебита становится ключевой задачей, поскольку позволяет решить сразу несколько задач: сократить продолжительность скважинных операций, повысить качество очистки скважины, уменьшить количество спускоподъемных операций и снизить общую стоимость работ. Важную роль в этом процессе играет внедрение новых технологий, позволяющих одновременно повышать производительность работ и снижать их себестоимость.

**Целью исследования** является повышение эффективности разработки месторождений, осложненных коррозией, отложениями солей и парафина, путем обеспечения высокой эксплуатационной надежности нефтепромыслового оборудования.

**Основные задачи исследования:**

1. Исследование факторов, осложняющих процесс разработки, и их влияния на эксплуатационную надежность оборудования на основе анализа геолого-физических характеристик и особенностей эксплуатации месторождений Казахстана: Тенгиз, Карачаганак, Узень, Жетыбай.

2. Исследование агрессивности нефтепромысловых сред указанных месторождений, динамики их изменения и фактического состояния технологического и эксплуатационного оборудования.

3. Разработка и внедрение перспективных технологий, технических средств и эффективных реагентов для повышения эксплуатационной надежности нефтепромыслового оборудования путем обеспечения его защиты от негативных проявлений коррозии и солевых отложений.

Изученность проблемы. В Республике Казахстан значительный вклад в исследование практических аспектов развития нефтегазового сектора внесли ученые: И.Т. Балабанов, А.И. Ильин, Т.Б. Баяхметова, У.Б. Баймуратова, Е.С. Карибджанова и др. Вопросами обратной (противоточной) промывки и освоения/очистки добывающих скважин занимались и продолжают заниматься такие ученые и специалисты, как Надиров Н.К., Аджибаев Т.Н., Искендеров С.Т., Ержанов С.Е., академик Жолтаев Г.Ж., профессор Хасенов А.Х., исследования которых в основном касались месторождений, находящихся в Атырауской и Мангистауской областях, где проблема выноса песка и загрязнения призабойной зоны пласта стоит особенно остро.

В России изучением технологии обратной промывки добывающих скважин занимаются такие ученые и специалисты, как Басарыгин Ю.М., Будников В.Ф., Булатов А.И., Щуров В.И., Гиматудинов Ш.К., Вадецкий Ю.В., Сучков Б.М.

В процессе эксплуатации добывающих скважин могут образовываться песчаные, баритовые и пропантовые пробки, а также накапливаться шлам и нефтепарафиновые отложения. Наличие таких отложений приводит к уменьшению проходного сечения скважины, ухудшению гидродинамической связи с продуктивным пластом, снижению производительности скважины и необходимости проведения дополнительных ремонтно-восстановительных работ [1].

© Аджибаев Т. / Adzhibayev T., 2026

**Методы решения поставленных задач.** Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является применение технологии обратной промывки с гидравлическим выносом песка, шлама, нефтепарафиновых, баритовых и пропантовых отложений. Такого же мнения придерживаются **Накпаев А. Б., Шаяхметова Ж. Б., которые** указывают, что при обратной промывке необходимая скорость выноса осадка достигается при сравнительно небольшом расходе жидкости и меньшем давлении насоса. Для плотных песчаных пробок рекомендуется комбинированная схема: разрушение пробки прямой промывкой и последующий вынос песка обратной промывкой [2].

Преимуществом указанной технологии является уменьшение количества спускоподъёмных операций. Сокращение числа операций уменьшает продолжительность ремонта и одновременно снижает количество потенциально опасных операций с оборудованием и колонной. Это также способствует уменьшению риска травматизма персонала и снижению вероятности загрязнения территории.

Вторым существенным преимуществом является сокращение времени, необходимого для проведения операции. В представленной разработке указано, что при существующей технологии выноса песка с использованием желонки средняя продолжительность составляет около 17 часов на одну скважину. Предлагаемая технология позволяет сократить это время до 1-2 часов на одну скважину. Для согласования экономических расчётов далее принимается верхняя граница указанного диапазона – 2 часа на одну скважину. Это консервативный вариант, при котором экономический эффект не завышается. Одним из наиболее существенных аргументов в пользу внедрения технологии является экономический эффект.

В качестве примера рассматривается условный расчёт для АО «Каражанбасмунай» при следующих исходных данных:

- стоимость одного бурового часа — 90 000 тенге;
- количество скважин в год — 1 700;
- продолжительность работ по существующей технологии — 17 часов на одну скважину;
- продолжительность работ по технологии обратной промывки — 2 часа на одну скважину.

Затраты на материалы, промывочную жидкость, утилизацию шлама, персонал, транспорт, подготовительно-заключительные операции и возможные капитальные вложения в оборудование в данный расчёт не включены. Поэтому полученный результат следует рассматривать как валовую экономию по времени работы установки, а не как окончательный чистый экономический эффект предприятия.

Исследователи Шуланбаева Л. Т., Чурикова Л. А., Мукамбеткалиева А. Н., Ахметжан С. З., Әшімова Е. Д. рассматривают скользящее промывочное устройство, при котором потери промывочной жидкости сокращались в 4–10 раз; объём циркуляции уменьшался примерно в 3–4 раза; снижалось загрязнение призабойной зоны; ускорялся ввод скважины в эксплуатацию после удаления песчаной пробки[3]. Работа непосредственно полезна для определения показателей технологической эффективности промывки. Однако испытания проводились преимущественно на российских месторождениях, поэтому применимость результатов к Казахстану необходимо обосновывать отдельно.

**Заключение**

Технология обратной промывки является перспективным техническим решением для повышения эффективности работ по очистке добывающих скважин от песка, шлама, нефтепарафиновых, баритовых и пропантовых отложений. Основой технологии является организация циркуляции промывочной жидкости через двойную концентрическую колонну. Жидкость подается в межтрубное пространство, поступает в нижней части в центральную внутреннюю трубу и вместе с разрушенными отложениями транспортируется на поверхность. Особенностью технологии является формирование высокой скорости восходящего потока во внутренней трубе. Это создает благоприятные условия для транспортировки твердых частиц и повышения качества очистки скважины.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мохов, М.А., Сахаров, В.А., Белов, И.Г. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. – М.: Академия, 2010 (и др. издания).

2. Накпаев, А.Б., Шаяхметова, Ж.Б. Технологические процессы по отбивке, промывке и очистке забоя скважин при капитальном, текущем ремонте скважин на месторождении Кумколь // *Вестник Атырауского университета нефти и газа.* – 2019. – № 2 (50). – С. 68–74.

3. Шуланбаева, Л.Т., Чурикова, Л.А., Мукамбеткалиева, А.Н., Ахметжан, С.З., Әшімова, Е.Д. Исследование эффективности ремонта скважин на месторождении Карачаганак // *Нефть и газ.* – 2024. – № 2 (140). – С. 147–157.

*Материал поступил в редакцию 20.10.26*

# EFFICIENCY OF BACKWASHING PRODUCTION OIL, WATER AND URANIUM WELLS

**T. Adzhibayev,** Master of Economics
Sherkhan Murtaza International Taraz University (Taraz), Republic of Kazakhstan

***Abstract.*** *The article examines the effectiveness of reverse circulation (backwashing) for clearing sand (and screen/filter zones) from the bottomhole of oil, water, and uranium production wells. The main process parameters are considered: composition, pressure, and operation duration. The results show that a properly selected reverse circulation regime promotes the removal of mechanical impurities from the bottomhole, restores filter permeability, and improves well production stability.*

***Keywords:*** *reverse circulation (backwashing) of oil, water, and uranium wells, bottomhole cleaning, bottomhole zone of the formation, tubing string, mechanical impurities, sand plugs in wells, technological efficiency, operation of oil, water, and uranium wells.*

## Philological sciences
## Филологические науки

**УДК 821.111(71).09:141.72**

# ФЕМИНИСТИЧЕСКИЕ РЕПРЕЗЕНТАЦИИ И ВОПРОСЫ НАЦИОНАЛЬНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ В ПРОИЗВЕДЕНИЯХ МАРГАРЕТ ЛОУРЕНС

**Л. Парсаданян,** преподаватель кафедры иностранных языков и литературы
Ванадзорский государственный университет имени О. Туманяна, Республика Армения

***Аннотация***. *В данной статье проводится анализ творчестао Маргарет Лоуренс, которая на примере своих произведений убедительно доказывает, что эмансипация женщины разворачивается не только в политическом поле, но и в укладе частной жизни, семьи и локального сообщества. Через глубокий психологизм ее героини преодолевают давление традиционных институтов, превращая личный опыт в фундамент для глубинных общественных трансформаций. Центральным инструментом этого освобождения становится акт автобиографического высказывания и переосмысления собственного прошлого. Подобное самоповествование функционирует как мощная субверсивная стратегия и форма эстетического самоутверждения. Рассказывая собственную историю, женщина избавлятся от статуса пассивного объекта чужих оценок. В результате этого художественного жеста она восстанавливает свою законную позицию как полноправный субъект истории и творец собственной судьбы.*

***Ключевые слова***: *Маргарет Лоуренс, женская эмансипация, женская субъектность, автобиографическое самоповествование, феминистское литературоведение, социальная трансформация, эстетическое самоутверждение.*

В статье рассматриваются ключевые идеологические и художественные направления, благодаря которым канадская феминистская литература заявила о своей самобытности в глобальном литературном контексте. Канадская феминистская литература — это не просто отклик на общественную борьбу, а голос, рожденный на пересечении суровой северной природы и экзистенциального опыта. Созданные ею художественные пространства позволяют женщине преодолеть позицию пассивного объекта и обрести статус полноправного субъекта нарратива. Особое внимание уделяется взаимосвязи женской идентичности и национального самосознания, поскольку в канадской литературе индивидуальный опыт женщины нередко становится способом осмысления исторических, культурных и социальных особенностей страны. В этом контексте творчество Маргарет Лоуренс представляет особый интерес: через судьбы своих героинь писательница раскрывает противоречия между личной свободой, традиционными гендерными ролями и общественными представлениями о национальной принадлежности.

Канадская феминистская литература сложилась как направление, бросившее вызов историческому молчанию, социальному забвению и укоренившимся культурным стереотипам. Она объединила идеи англоязычных и франкоязычных женщин, коренных жительниц и иммигранток, которые посредством своих историй заново очертили границы женского опыта в Канаде. Генезис этого явления уходит корнями в более широкий исторический контекст: катаклизмы двух мировых войн подорвали традиционные ценности и религиозные устои европейского общества, в результате чего многие обратились к поиску альтернативных духовных ориентиров. В 20-х годах XX века зарождается феминистское движение, в основе которого лежит изучение особенностей женской психологии. Развивавшиеся в тот период феминистские идеологии были направлены на то, чтобы воздать должное женщине и наделить ее правами.

Вместе с тем формирование канадской национальной идентичности следует рассматривать как сложный процесс, обусловленный историческим развитием страны, культурным многообразием и взаимодействием различных социальных групп. В литературе этот процесс отражается через обращение к коллективной памяти, локальным традициям и повседневному опыту людей. Женские персонажи позволяют увидеть национальную культуру не только как совокупность общепринятых ценностей, но и как пространство, в котором сталкиваются различные представления о свободе, принадлежности и общественном предназначении женщины.

Во второй половине XX столетия канадская критическая мысль органично интегрировала широкий спектр феминистских теорий: от экзистенциалистской философии Симоны де Бовуар до постколониального дискурса. Это позволило перейти от констатации фактов тематического присутствия женщин к глубокому анализу субверсивных стратегий, воплощенных на уровне языка, повествования и иронии. Будучи одновременно национальной и общемировой тенденцией, канадская феминистская проза XX века

© Парсаданян Л. / Parsadanyan L., 2026

переосмыслила статус женщины, заложив основы новой идентичности, в центре которой находятся идеи свободы самовыражения, автономии тела и социальной справедливости. Она продолжает оказывать влияние на культурные дискурсы XXI века, выступая источником непрекращающейся борьбы и переосмысления [4, p. 59].

Важным аспектом такого переосмысления становится вопрос о том, кто имеет право представлять национальную культуру и чей опыт признается значимым для её формирования. Феминистская литература расширяет традиционные представления о национальном повествовании, включая в него женские истории, частную жизнь и повседневные переживания. Благодаря этому национальная идентичность предстает не как неизменная категория, а как динамичный процесс, формирующийся в том числе посредством индивидуального опыта и критического пересмотра культурных норм.

Канадские писательницы обращаются в своей литературе в основном к женским образам, которые находятся во внутренних противоречиях не только из-за принадлежности своего «я» и индивидуальных проявлений, но также зачастую из-за влияния своих воспоминаний и прошлого опыта. Эти особенности ярко выражены в произведениях М. Лоуренс, которая своими основополагающими проявлениями нового женского мышления изменила представления канадок XX века об идеальной семейной модели и о роли и значении женщины в обществе. Как мы уже отмечали, основная цель феминистского движения заключалась в позиционировании представительницы женского пола как полноценной личности, способной позаботиться о себе во всех аспектах жизни. Однако в произведениях интересующих нас авторов применение феминистских идей существенно различается.

В произведениях Маргарет Лоуренс внутренние конфликты героинь могут рассматриваться не только как отражение индивидуальных психологических переживаний, но и как проявление более широких общественных противоречий. Столкновение личных стремлений с ожиданиями семьи и локального сообщества позволяет писательнице исследовать механизмы формирования женской идентичности в конкретной культурной среде. При этом принадлежность к определённому сообществу не исключает стремления героини к самостоятельности, а, напротив, становится одним из факторов, через которые раскрываются вопросы личного выбора и национальной принадлежности.

Феминизм в канадской литературе проявляется как мощное и многослойное движение, которое развивалось через различные этапы, реагируя на социально-политические изменения канадского общества. Далее рассмотрим ключевые феминистские подходы и формы художественной репрезентации данных тем в канадской прозе.

Феминизм в канадской литературе заявил о себе еще в первой половине XX века, но настоящий перелом наступил в 1960-е годы на фоне подъема общественно-политического движения. Художники слова этого периода обратились к критике гендерной дискриминации, а также традиционных предписаний относительно роли женщины в семье и обществе. Литература феминистской направленности в Канаде того времени фокусируется на следующих темах: поиски женской идентичности, гендерное неравенство, критика материнства и семейной роли, восприятие тела и сексуальности, усиление позиций маргинализированных женщин в общественном дискурсе (коренные жительницы, меньшинства, лесбиянки).

Взаимосвязь гендерной и национальной проблематики особенно важна для анализа литературы, в которой частная жизнь становится отражением общественных процессов. Исследование женских образов позволяет проследить, как представления о семье, материнстве, социальной ответственности и культурной принадлежности влияют на формирование национального самосознания. В этом отношении произведения Лоуренс открывают возможность рассматривать национальную идентичность через призму индивидуального опыта, уделяя внимание тем аспектам общественной жизни, которые традиционно могли оставаться за пределами доминирующего национального повествования.

Необходимо признать, что феминизм в канадской литературе — это не просто репрезентация обретаемого женщинами голоса, но и смелая критика систем, ограничивающих женскую свободу. Эта литература разнообразна как в жанровом, так и в культурном отношении и продолжает развиваться, отвечая на вызовы современности.

Таким образом, анализ феминистических репрезентаций в произведениях Маргарет Лоуренс позволяет глубже понять, каким образом литературное изображение женского опыта связано с осмыслением канадской национальной идентичности. В центре такого анализа находятся не только положение женщины в семье и обществе, но и взаимодействие личной памяти, культурных традиций и коллективных представлений о национальной принадлежности. Подобный подход позволяет раскрыть двойственную функцию художественного повествования: оно одновременно подвергает критике устоявшиеся гендерные нормы и расширяет представления о том, чей опыт формирует национальную культуру.

Основоположницей канадской феминистской литературы по праву считается Маргарет Лоуренс. В своем творчестве она уделяет пристальное внимание не только художественно-выразительным средствам и эмоциональному строю произведений, но и строгой лексической точности английского языка. Интерес к лингвистической форме проявился у нее еще в годы учебы в старшей школе: в текстах раннего периода творчества и особенно в поэзии она тяготела к стилистически безупречному, классическому английскому языку. Участие в литературном клубе Артура Фелпса и глубокое погружение в круг чтения заложили

фундамент ее будущего писательского и литературоведческого пути. В период обучения в колледже этот потенциал получил системное развитие, определив ее профессиональное и академическое становление.

Особое значение в творчестве Лоуренс приобретает взаимодействие языковой формы и содержания, поскольку посредством художественного слова раскрываются не только индивидуальные переживания героев, но и более широкие культурные противоречия. Язык становится средством осмысления социального опыта, исторической памяти и принадлежности к определенному сообществу. В этом контексте литературное творчество выступает пространством, в котором личная история женщины включается в более широкий процесс формирования канадского национального самосознания.

Считаем необходимым подчеркнуть, что одной из характерных особенностей канадской феминистской литературы является широкое использование тем природы и пейзажа. Северный пейзаж часто становится символом женской идентичности: пространством, где нужно найти формы не только физического, но и духовного выживания. Тексты канадских авторов демонстрируют, что женский опыт формируется на пересечении различных модальностей идентичности: материнства, творчества, этнической принадлежности (представительницы коренных народов, иммигрантки), гражданской позиции, а также экзистенциальных ролей сопротивления и любви.

Природное пространство в таком художественном контексте может рассматриваться не только как фон повествования, но и как значимый элемент культурной идентичности. Особенности канадского ландшафта, удаленность отдельных поселений и тесная связь человека с окружающей средой создают условия для осмысления отношений между личностью и сообществом. При этом образ природы способен отражать как ограничения, обусловленные социальными обстоятельствами, так и возможности внутреннего освобождения. Для анализа произведений Лоуренс важно учитывать, каким образом локальное пространство влияет на самоощущение героинь и на их представления о собственном месте в обществе.

Таким образом, канадская феминистская литература — это не только форма искусства, но и культурная политика. Она доказывает, что литература может быть пространством свободы, где язык служит не для подавления, а для выражения. Кроме того, феминистская литература способствует пересмотру традиционных представлений о национальной культуре, поскольку позволяет включить в ее художественную картину мира опыт женщин, ранее нередко остававшийся на периферии общественного внимания. Благодаря этому национальная идентичность предстает не как однородная и неизменная категория, а как результат взаимодействия различных социальных, культурных и индивидуальных перспектив.

Большинство творческих работ канадских писательниц XX века, а М. Лоуренс особенно, отражает структурные проявления женской идентичности. В своих произведениях М. Лоуренс изображает женщину как индивидуальность с внутриличностными противоречиями и личными желаниями, которая, тем не менее, находится в эпицентре реализации социальных обязательств. Характерно, что женский образ в канадской литературе XX века балансирует между социально навязанными ролями и внутренней работой самопознания, отражая драму личностного сопротивления социальному давлению.

В произведениях Лоуренс этот конфликт позволяет исследовать процесс формирования женской субъектности в условиях устойчивых общественных ожиданий. Героини писательницы сталкиваются с необходимостью соотносить личные стремления с требованиями семьи и локального сообщества, а также с принятыми представлениями о женском предназначении. Их внутренние противоречия отражают не только индивидуальные психологические трудности, но и трансформацию социальных ценностей. Таким образом, изображение частной жизни приобретает общественное значение, позволяя рассматривать положение женщины как один из важных аспектов осмысления канадской идентичности.

Необходимо констатировать, что в развитие канадской феминистской литературы XX века внесла большой вклад и английская писательница XX века Вирджиния Вулф. Метод потока сознания, примененный Вулф, и углубленное использование внутреннего монолога оказали влияние на психологическую прозу XX века. Как отмечает американский литературный критик Голдман, хотя Лоуренс ближе к социальному реализму, тщательный анализ внутреннего мира ее персонажей в определенной степени близок к вулфовской психологической глубине.

Сопоставление художественных подходов Вулф и Лоуренс позволяет выявить общую для женской литературы XX века тенденцию к раскрытию внутреннего мира героини как самостоятельной области художественного исследования. Однако в канадском литературном контексте психологическое изображение личности может приобретать дополнительное значение, поскольку индивидуальные переживания соотносятся с конкретными историческими условиями, социальными нормами и особенностями локальной культуры. Это позволяет рассматривать внутренний мир женщины не изолированно, а в тесной связи с окружающей ее общественной средой.

В понимании Вирджинии Вулф поиски глубинного раскрытия женской телесности сопоставимы с мотивом поиска чувственных наслаждений у героинь Элис Монро [5, p. 115]. Если Вулф можно рассматривать как одну из теоретических основоположниц англоязычной феминистской литературной традиции, то Лоуренс, Этвуд и Монро переносят эту традицию в канадское национальное измерение, сопоставляя ее с проблемами колониальной истории, территориальной идентичности и культурного самосознания.

В данном случае национальное измерение феминистской литературы проявляется в способности писательниц соотносить универсальные вопросы женской свободы и самоопределения с конкретным историко-культурным опытом Канады. Проблемы территориальной принадлежности, культурной памяти и наследия колониализма позволяют раскрыть неоднозначность национальной идентичности, которая формируется в условиях взаимодействия различных традиций и социальных групп. Женская перспектива расширяет границы такого осмысления, поскольку обращает внимание на индивидуальные истории и повседневный опыт как значимые составляющие национального повествования.

Интересен тот факт, что, если Вулф поднимала вопрос «может ли женщина писать?», то в случае Лоуренс, Этвуд и Монро вопросы формулируются уже иначе: «как женщина творит?» и «какова направленность ее критического дискурса?» [1, p. 89]. Поэтому можно утверждать, что влияние Вулф на этих авторов является фундаментальным, но опосредованным. Она создала ту теоретическую и художественную платформу, на которой литература женщин последующих поколений смогла сформироваться как самосознательный и критический дискурс [7].

Переход от вопроса о возможности женского авторства к анализу его художественных и идеологических стратегий свидетельствует о расширении задач феминистской литературы. Женщина-писательница выступает не только создателем художественного текста, но и активным участником культурного диалога, способным пересматривать устоявшиеся представления о гендере, истории и национальной принадлежности. В этом смысле творчество Лоуренс важно рассматривать как часть процесса, в ходе которого женский голос становится полноценным участником формирования национальной литературной традиции.

Как отмечают американские литературные критики Конрад и Хиллер, XX век в развитии канадской литературы ознаменовался поисками национальной идентичности, изучением колониального наследия и появлением разнообразных культурных направлений. Важную роль в этом процессе сыграли женщины-авторы, литературные произведения которых не только расширили тематическое поле канадской литературы, но и переформулировали идеи субъектности и идентичности.

Особенно значимым результатом этого процесса стало расширение представлений о том, кто может выступать носителем национального опыта и каким образом этот опыт получает художественное выражение. Женские персонажи и авторские повествовательные стратегии позволяют показать, что национальная идентичность формируется не только посредством коллективных исторических событий и официальных культурных нарративов, но и через частную жизнь, межличностные отношения, семейную память и повседневные практики. Такой подход помогает выявить взаимосвязь между индивидуальным самоопределением и более широкими процессами культурного становления канадского общества.

Женщины-авторы вышли на литературную арену, чтобы переосмыслить традиционные гендерные роли, поставить вопрос о равноправии и оспорить патриархальный тезис об ограниченности женского творческого потенциала. Интеллектуальное превосходство мужчин исторически базировалось на привилегиях социального опыта и информированности. Ликвидация этого разрыва доказывает равный когнитивный потенциал женщин. Жорж Санд, с именем которой связано развитие «женского романа», в основу своего творчества вкладывает размышления о месте человека, в частности женщины, в обществе.

Переосмысление гендерных ролей имеет значение не только для изображения женщины как самостоятельной личности, но и для критического пересмотра культурных норм, посредством которых общество определяет границы допустимого поведения. В литературе подобная критика реализуется через изображение конфликтов между личными желаниями и общественными предписаниями, а также через поиск героинями собственного голоса. В контексте канадской литературы эти вопросы соотносятся с проблемой национального самосознания, поскольку представления о коллективной идентичности также зависят от того, какие группы и формы жизненного опыта получают признание в культурном пространстве.

Феминистская литература стала той платформой, где канадские женщины смогли выразить свой социальный, культурный и личный опыт, зачастую сопротивляясь навязанному обществом молчанию [2, p. 192]. Маргарет Лоуренс занимает центральное место в истории канадской литературы. Ее литературное наследие сыграло существенную роль в процессе формирования национальной идентичности и женского самосознания. Ее проза — это не только художественное выражение высокой ценности, но и идеологическая платформа, на которой формулируются фундаментальные положения канадского феминистского дискурса.

Таким образом, творчество Маргарет Лоуренс представляет собой важный материал для изучения взаимосвязи феминистических репрезентаций и национальной идентичности. Через психологическую глубину женских образов, изображение семейных отношений и внимание к локальному сообществу писательница раскрывает противоречия между индивидуальной свободой и социальными ожиданиями. Ее произведения позволяют рассматривать женскую идентичность как динамичный процесс, связанный с переосмыслением прошлого, поиском самостоятельного голоса и определением собственного места в обществе. В свою очередь, национальная идентичность предстает как многосоставное культурное явление, формирующееся в том числе благодаря признанию индивидуального опыта и разнообразия жизненных историй. Именно в этой взаимосвязи заключается значимость литературного наследия Лоуренс для исследования канадской феминистской прозы XX века.

Литературное наследие Лоуренс следует рассматривать и в контексте феминистского движения канадской литературы 1960–1970-х годов, когда канадская литература начала переосмыслять гендерную и национальную идентичности. Ее творчество заложило фундамент, на котором впоследствии сформировались такие значимые авторы, как Маргарет Этвуд и Элис Монро. Однако, если Этвуд довела феминистский дискурс до теоретических и антиутопических обобщений, то Лоуренс заложила его основы на базе социального реализма и психологического анализа. Элис Монро, в свою очередь, внедрила тонкие психологические вопросы и предлагаемые им решения.

При этом значение творчества Лоуренс заключается не только в раскрытии проблем женской эмансипации, но и в исследовании взаимосвязи индивидуального опыта с формированием канадского национального самосознания. Обращаясь к повседневной жизни, семейным отношениям и традициям локальных сообществ, писательница показывает, каким образом социальные нормы и исторически сложившиеся представления о принадлежности влияют на самоопределение женщины. Благодаря этому женская идентичность предстает не изолированным психологическим феноменом, а частью более широкого процесса переосмысления культурных ценностей и национальных традиций.

Феминистская проза Маргарет Лоуренс отличается глубоким гуманизмом и выраженным социальным звучанием. Ее женские персонажи борются не только с внешним социальным давлением, но и с внутренним чувством вины, греха и самоуничтожения. В романах «Каменный ангел» (“The Stone Angel,” 1964), «Ирония Бога» (“A Jest of God,” 1966), «Обитатели огня» (“The Fire-Dwellers,” 1969) и «Прорицатели» (“The Diviners,” 1974) истории персонажей раскрывают экзистенциальную борьбу женщин на пути поиска возможностей собственного самовыражения и переосмысления смысла жизни. Эти персонажи часто представляют собой женщин среднего возраста, которые пересматривают свое прошлое, чтобы понять, как общественные и семейные нормы сформировали их идентичность [9].

Особую роль в этом процессе играет противоречие между индивидуальным самоопределением и коллективными представлениями о женском предназначении. Героини Лоуренс вынуждены соотносить собственные желания с моральными требованиями семьи и сообщества, в котором они живут. Их внутренние конфликты позволяют выявить, как частная жизнь становится пространством воспроизводства и одновременно оспаривания социальных норм. В результате история отдельной женщины приобретает более широкое культурное значение, поскольку через нее раскрываются особенности общественных отношений и представлений, характерных для определенного исторического периода канадской жизни.

Феминистский дискурс Лоуренс свободен от прямой публицистичности или манифестации; он раскрывается через сложную психологическую мотивировку и художественную структуру ее произведений. Внутренние монологи персонажей отличаются психологической достоверностью и глубиной, что позволяет читателю непосредственно приобщиться к внутреннему миру женщины, минуя авторские или внешние комментарии. Такой подход позволяет отнести творчество Лоуренс к феминистскому психологическому реализму, в рамках которого женщина осмысляется как самодостаточный субъект, а не как функция социальных ролей. Кроме того, важным признаком литературы Лоуренс является ее «контекстуальная канадскость». В ее творчестве детально исследуется то, как вопросы женской эмансипации и преодоления давления социума актуализируются в замкнутом пространстве провинции и традиционных культурных институтов. Город Манавака, как созданный ею вымышленный мир, становится микромоделью канадской социальной реальности, где женщины пытаются выжить в условиях патриархальных и нравственных ограничений [6].

Вымышленное пространство Манаваки имеет значение и для понимания национальной идентичности, поскольку в нем локальные традиции, социальная память и коллективные представления о морали определяют границы индивидуального поведения. Через изображение небольшого сообщества Лоуренс исследует механизмы, посредством которых общество сохраняет привычные нормы и передает их следующим поколениям. Вместе с тем Манавака не является лишь символом консервативной среды: это художественное пространство, в котором обнаруживаются противоречия между традицией и переменами, коллективными ожиданиями и личной свободой. Таким образом, локальное пространство становится важным средством осмысления того, как формируется и пересматривается национальная идентичность.

Феминистские тексты Лоуренс также подчеркивают взаимосвязь истории и памяти [8, p. 114]. Ее персонажи часто рассказывают собственную историю ретроспективно, пытаясь восстановить свое прошлое и придать ему новый смысл. Этот подход «самоповествования» можно рассматривать как феминистское действие, посредством которого женщина восстанавливает свой образ и свое место в истории.

Таким образом, феминистская литература Маргарет Лоуренс отличается психологической глубиной, тонким анализом вопросов идентичности и социальной критикой, основанной на канадской культурной среде. В ее произведениях женский опыт представлен как история поиска внутренней и внешней свободы, показывающая, что феминизм — это не только общественная борьба, но и процесс духовного и этического самопознания.

Феминистская критика рассматривает произведения Лоуренс как оригинальный сплав психологического реализма и социальной критики. Она изображает женщин как субъектов, проходящих через

путь самосознания, противостоящих не только внешнему социальному давлению, но и внутренним — духовным и общественным противоречиям.

Такое изображение женской субъектности позволяет увидеть, что социальные ограничения действуют не только извне, но и усваиваются самой личностью, становясь частью ее представлений о долге, вине и допустимых формах поведения. Поэтому внутренний конфликт героинь приобретает особую значимость: он отражает столкновение усвоенных культурных норм с потребностью в самостоятельном выборе. В художественном мире Лоуренс психологическое самопознание тем самым становится одним из способов критического осмысления общественного устройства.

Ключевой темой литературы Лоуренс является также поиск женской идентичности. Ее персонажи часто стоят на грани прошлого и настоящего, пытаясь переосмыслить свою жизнь. Так, в романе «Каменный ангел» (“The Stone Angel,” 1964) в образе Агары Шипли представлена женщина, которая на закате своей жизни пытается понять истоки собственных неудач. Стремление Агары к независимости неразрывно связано с поисками внутренней свободы и самопознания. Присущая ей гордость, постепенно перерастающая в изоляцию, воплощает в себе драматизм конфликта между социальными ожиданиями и глубинным женским самоопределением. Другой известный персонаж Лоуренс — Рэйчел Кэмерон, героиня произведения «Ирония Бога» (“A Jest of God,” 1966) — живет в условиях молчаливого конфликта между социальными обязанностями и внутренними желаниями. Процесс ее самопознания формируется не через революционное сопротивление, а посредством самоизоляции, интроспекции. Этот подход свидетельствует о том, что феминизм Лоуренс основан на психологическом развитии, а не на открытой идеологической борьбе.

Как мы уже отмечали, большая часть повестей Лоуренс разворачивается в вымышленном городе Манавака (Manawaka), символизирующем мелкобуржуазную, консервативную среду Канады. Это микрообщество формирует социальную структуру жизни женщин, навязывая свои своды правил и моральные критерии. Стремление героинь выйти за рамки этих границ преподносится как освободительное движение.

При этом художественное значение Манаваки выходит за пределы изображения патриархального сообщества. Через локальную среду писательница показывает, как представления о принадлежности, репутации и социальной приемлемости влияют на самоощущение человека. Микрокосм вымышленного города позволяет исследовать противоречия канадского общества на уровне повседневных отношений, демонстрируя, что национальная культура складывается не только из общих исторических символов, но и из локальных норм, коллективных воспоминаний и индивидуальных жизненных историй.

В повести «Обитатели огня» (“The Fire-Dwellers,” 1969), например, Шарлотта Мерфи борется с тяжелым грузом семейных и материнских обязанностей, пытаясь заново обрести свою индивидуальность. Ее повседневная жизнь, полная мелких рутинных обязанностей, превращается в поле внутреннего сопротивления. В этом романе Лоуренс критикует ограниченность социального образа женщин среднего класса и раскрывает повседневные формы психологического давления на женщин.

В повести «Прорицатели» (“The Diviners,” 1974) Мораг Ганн, писательница и мать, рассказывает о различных этапах своей жизни, реконструируя собственную биографию и культурную память канадского общества. Роман одновременно выступает описанием истории об искусстве и руководством по формированию женской идентичности. История Мораг свидетельствует о том, что искусство может стать средством свободы, восстанавливая самовыражение женщины в общественном дискурсе.

Таким образом, Лоуренс показывает, что освобождение женщин следует рассматривать не только в политической, но также в социальной и семейной плоскостях, где посредством личного опыта формируются предпосылки для социальных изменений [3]. Персонажи Лоуренс часто рассказывают свою историю, переосмысливая прошлое. Этот процесс самоповествования можно рассматривать как форму феминистского самоутверждения. Рассказывая свою историю, женщина возвращается на позицию субъекта истории.

Лоуренс рассматривает феминистскую литературу как процесс перезаписи истории: истории женщин становятся «антиисторией», противостоящей патриархальным нарративам.

Писательница подчеркивает вопросы поиска женской идентичности и установленных обществом ролевых ограничений, представляет средства их экзистенциальной борьбы и выразительные средства, а также выражает трансформации их эмоционального и духовно-психологического внутреннего мира после определенных проявлений неповиновения и самовыражения.

Одним из ключевых вкладов Лоуренс в литературу является то, что она превратила канадское провинциальное пространство в своеобразную лабораторию по исследованию процессов формирования женской идентичности. Ее персонажи живут в ограниченных географических пространствах, но их внутренний мир универсален. Тем самым Лоуренс объединяет национальный и гендерный дискурсы, создавая литературу, которая одновременно локальна и глобальна.

В результате настоящего исследования можно обоснованно утверждать, что Маргарет Лоуренс является одной из основоположниц канадской феминистской литературы. Ее произведения не только отразили голос женщин, но и сформировали тот художественный язык, на котором этот голос мог звучать. В литературно-критическом дискурсе ее имя остается ключевым как автора, которая одной из первых системно и идеологически последовательно подняла в канадской прозе проблемы женской идентичности, свободы и творческого самовыражения. Ее литературное наследие также позволяет рассматривать национальную

идентичность как процесс, формирующийся через взаимодействие коллективной истории и индивидуальной памяти. В произведениях Лоуренс женские персонажи не просто отражают особенности канадского общества, но и ставят под сомнение устоявшиеся представления о его культурных ценностях. Включая в литературное повествование женский опыт, писательница расширяет границы национального самосознания и показывает, что понимание культуры невозможно без учета разнообразия личных историй, социальных позиций и форм самоопределения.

Маргарет Лоуренс, заложившая краеугольный камень канадской феминистской литературы, сумела точно уловить пульс своего времени и представить волнующие не только ее, но и все общество проблемы идентичности, психологического, внутриличностного, гендерного неравенства во всей их угнетающей остроте. В произведениях Маргарет Лоуренс женский персонаж больше не выступает в качестве вторичной или символической фигуры: она рассказывает свою собственную историю, подвергая сомнению навязанные обществом моральные нормы и властные структуры.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bauch, M. Canadian Self-perception and Self-representation in English-Canadian Writing After 1967, Köln, Germany, 2012.
2. Conrad, M.R., Hiller, J.K. Between the Wars, 1919-1939, Atlantic Canada: A History, Oxford (2nd ed.), 2010.
3. Djwa, S. Margaret Laurence and the Feminist Imagination, Canadian Literature, vol. 117, 1988. Pp. 12–25.
4. Frye, N. The Bush Garden: Essays on the Canadian Imagination, Toronto, House of Anansi Press, 2017.
5. Goldman, J. The Feminist Aesthetics of Virginia Woolf: Modernism, Post-Impressionism and the Politics of the Visual, Cambridge University Press, 2001.
6. Howells, C.A. The Cambridge Companion to Margaret Laurence, Cambridge University Press, 2007.
7. Klages, M. Postmodernism; Englsih, 2010: Modern Critical Thought, University of Colorado, 21 April 2003.
8. Powers, L. Alien Heart: The Life and Work of Margaret Laurence, East Lansing, Michigan State University Press, 2004.
9. Toye, W. Feminist Realism in the Fiction of Margaret Laurence, Studies in Canadian Literature 6 (1), 1981, pp. 32–48.

*Материал поступил в редакцию 17.10.26*

## FEMINIST REPRESENTATIONS AND ISSUES OF NATIONAL IDENTITY IN MARGARET LAURENCE'S WORKS

**L. Parsadanyan,** Lecturer at the Chair of Foreign Languages and Literature
Vanadzor State University after H. Tumanyan, Republic of Armenia

***Abstract****. This article examines the works of Margaret Laurence, demonstrating how her writing portrays women's emancipation as a process that unfolds not only in the political sphere but also within the realms of private life, family, and the local community. Through psychological depth, Laurence's female protagonists overcome the constraints imposed by traditional institutions, transforming personal experience into a foundation for profound social change. A central instrument of this liberation is autobiographical self-expression and the reinterpretation of one's own past. Such self-narration functions as a powerful subversive strategy and a form of aesthetic self-assertion. By telling her own story, a woman ceases to be a passive object of others' judgments. Through this literary act, she reclaims her position as an active subject of history and the author of her own destiny.*

***Keywords****: Margaret Laurence, women's emancipation, female subjectivity, autobiographical self-narration, feminist literary criticism, social transformation, aesthetic self-assertion.*

## Pedagogical sciences
## Педагогические науки

**УДК 310.04**

# К ВОПРОСУ О ПОЛОВОМ ВОСПИТАНИИ ПОДРОСТКОВ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ

**Т.Е. Алексеева,** магистр психологии, соискатель учёной степени кандидата педагогических наук
Владимирский государственный университет имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (г. Владимир), Россия

***Аннотация.*** *В данной статье предпринята попытка рассмотреть с авторской позиции половое воспитание подростков в современном обществе.*

***Ключевые слова:*** *подростковое воспитание, современное общество, воспитательные институты, социальная зрелость, нравственная и социальная ответственность.*

В современных реалиях развития российского общества все большее беспокойство вызывает ненормативное поведение несовершеннолетних [10, с. 15-18]. К нему мы относим употребление спиртных напитков, психоактивных веществ (ПАВ), промискуитет, экстремистско-террористическую готовность совершения преступности против личности, общества и другие деструктивные проявления. Рыночные отношения инициировали прагматизм, гедонизм, индифферентное отношение к другому, эгоцентризм, индивидуализм, экзистенциальный вакуум [1, с. 18; 5, с. 45-50; 7, с. 100-105]. Нам представляется, что эти явления производные от безнравственности. Родители и педагоги чаще всего борются со следствием, забывая о медицинском принципе, что любую болезнь гораздо легче предупредить, чем лечить [4, с. 120-125]. Достаточно часто можно слышать, что современные несовершеннолетние деяния-это результат незнания или закона, но как известно, это не освобождает от ответственности.

Для современного общества характерен цифровой формат и тенденция к демонстративному поведению молодежи. Подростковый возраст, как известно, это такая стадия онтогенеза, которая характеризуется стремлением к эмансипации, этажности, демонстративности, группированием с референтными сверстниками [2, с. 340-350]. Сопровождается большой гормональной перестройкой организма (эмоционально-волевой сферой и поведением), при этом социальное, нравственное развитие в данном возрасте происходит гораздо медленнее физического развития. Несоответствие уровня физической зрелости и психической незрелости часто является источником импульсивных действий, необдуманного решения проблем и отсутствия предвидения последствий собственных поступков.

Также в этом возрасте физическое созревание значительно опережает социальное и нравственное развитие, что создаёт предпосылки для рискованного поведения и неспособности адекватно оценивать последствия своих поступков [6, с. 620-630]. Социальной же и нравственной зрелости мало, поскольку акселерация не коррелирует с ответственностью и критическим мышлением. В то же время идущие на поводу инстинктов подростки ломают жизнь себе и своему партнеру, поскольку забывают, что сексуальная жизнь является продолжением духовной близости, и разменивание её на прихоть приводит к истощению нервной системы [10, с. 95-100].

Анализируя статистические данные о несовершеннолетних, которые ушли из жизни добровольно, можно констатировать, что в их число входят и подростки, потерявшие интерес к жизни, разуверившиеся в любви, испытавшие унижение со стороны близких людей, что привело к дезорганизации психической деятельности и формированию экзистенциального вакуума [1, с. 18; 7, с. 45-50].

Цель исследования – обосновать педагогические условия, способствующие гармоничному взаимоотношению полов и формированию у них социальной и нравственной зрелости и ответственности.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить ряд задач. Прежде всего, необходимо было обосновать актуальность темы, показав, почему вопросы полового воспитания сегодня выходят на первый план в работе с подростками. Далее предстояло определить, какие именно педагогические условия обеспечивают формирование половой грамотности и ответственного поведения. Отдельное внимание уделено анализу роли семьи, школы и других воспитательных институтов в предупреждении безответственных поступков и в воспитании уважительного отношения к окружающим.

Гипотеза исследования: эффективность полового воспитания подростков будет возможна при реализации следующих условий: если будет сформирован достойный уровень нравственной культуры, социальной и нравственной воспитанности, уважительное и ответственное отношение к противоположному полу, самокритичное мышление.

Методы исследования: анализ, синтез, обобщение, сравнение, конкретизация, аналогия.

В рамках нашего исследования мы уточнили понятие «половое воспитание подростков» и «нравственная воспитанность», что позволило по-новому взглянуть на взаимоотношение полов и выработать тактику взаимодействия.

© Алексеева Т.Е. / Alekseeva T.E., 2026

Как видно из вышесказанного – решение состоит в том чтобы воспитать социально-зрелого ответственного подростка (не подчиняющегося своим инстинктам), умеющего правильно осознать перемены в своей жизни и определить их единственным верным путем — не навредить никому!

Как мы уже отмечали, половое воспитание — это часть нравственного воспитания [10, с. 5-10]. Оно направлено на формирование социально зрелой, ответственной личности, четко представляющей свою жизненную миссию и предназначение, развивающее взаимодействие полов как уважительную коммуникацию. Задача родителей и педагогов до начала полового созревания — взаимодействовать с несовершеннолетними таким образом, чтобы они имели четкое представление о позитивном и негативном, об уважении к людям, об ответственности за свои поступки [3, с. 45-50; 6, с. 30-35]. Своим взрослеющим телом надо уметь руководить и направлять энергию в позитивное русло: спорт, физический труд, социально полезную деятельность [4, с. 250-260; 8, с. 180-190], направленную на помощь нуждающимся участникам СВО, тяжелобольным людям, оказавшимся в сложной жизненной ситуации. До подростков необходимо донести, что любовь к человеку проявляется в уважении к нему и невозможности его обидеть, причинить боль; любовь — это служение Родине и ближнему человеку.

Таким образом, только формирование социальной нравственной зрелости подростков помогает грамотно, конструктивно распоряжаться своей жизнью, спланировав ее так, чтобы в будущем не испытывать мучительной боли и стыда за бесцельно прожитые годы [1, с. 18; 4, с. 300-310; 9, с. 60-65] ,чтобы не жёг огонь позора за подленькое прошлое, а чтобы они могли с гордостью констатировать: все, чего им удалось достичь, было продуманной, осознанной поведенческой стратегией, позволяющей не причинить боль другим и реализовывать себя как зрелую и ответственную личность.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева, Т.Е. «Формирование позитивного самоотношения у менеджеров среднего звена с различной гендерной типизацией: программа и оценка эффективности» // Путь науки. – 2026. – № 2 (144). – С. 69-73.
2. Выготский, Л.С. Психология развития ребенка. – М.: Смысл; Эксмо, 2004. – 512 с.
3. Макаренко, А.С. «Книга для родителей» // Макаренко А.С. Педагогическая поэма; Книга для родителей. – М.: Эксмо, 2025. – С. 345-668.
4. Макаренко, А.С. Педагогическая поэма. – М.: Эксмо, 2025. – 668 с.
5. Пантелеев, С.Р. Методика исследования самоотношения (МИС): руководство. – М.: Смысл, 1993. – 32 с.
6. Рубинштейн, С.Л. Основы общей психологии. – СПб.: Питер, 2015. – 713 с.
7. Столин, В.В. Самосознание личности. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 284 с.
8. Ушинский, К.Д. «Человек как предмет воспитания. Опыт педагогической антропологии» // Собрание сочинений: в 11 т. – М.; Л.: Изд-во АПН РСФСР, 1948-1952. – Т. 8-9.
9. Ушинский, К.Д. «О нравственном элементе в русском воспитании» // Собрание сочинений: в 11 т. – М.; Л.: Изд-во АПН РСФСР, 1948-1952. – Т. 2.
10. Фортова, Л.К. Половое воспитание молодёжи. – Владимир: ВлГУ, 2007. – 420 с.

## REFERENCES

1. Alekseeva T.E. "Formation of positive self-attitude among middle managers with different gender typification: program and effectiveness evaluation". Put' nauki. 2026. No. 2 (144). P. 69-73.
2. Vygotskij L.S. Psihologija razvitija rebenka. Moscow. Smysl; Jeksmo, 2004. 512 p.
3. Makarenko A.S. "Kniga dlja roditelej". Makarenko A.S. Pedagogicheskaja pojehma; Kniga dlja roditelej. Moscow. Jeksmo, 2025. pp. 345-668.
4. Makarenko A.S. Pedagogicheskaja pojehma. Moscow. Jeksmo, 2025. 668 p.
5. Panteleev S.R. Metodika issledovanija samootnoshenija (MIS): rukovodstvo. Moscow. Smysl, 1993. 32 p.
6. Rubinshtejn S.L. Osnovy obshhej psihologii. SPb.: Piter, 2015. 713 p.
7. Stolin V.V. Samosoznanie lichnosti. Moscow. Izd-vo MGU, 1983. 284 p.
8. Ushinskij K.D. "Chelovek kak predmet vospitanija. Opyt pedagogicheskoj antropologii". Sobranie sochinenij: v 11 t. Moscow.; L.: Izd-vo APN RSFSR, 1948-1952. Vol. 8-9.
9. Ushinskij K.D. "O nravstvennom jelemente v russkom vospitanii". Sobranie sochinenij: v 11 t. Moscow.; L.: Izd-vo APN RSFSR, 1948-1952. Vol. 2.
10. Fortova L.K. Polovoe vospitanie molodjozhi. Vladimir: VlGU, 2007. 420 p.

*Материал поступил в редакцию 05.10.26*

## TO THE QUESTION OF SEX EDUCATION FOR ADOLESCENTS IN MODERN SOCIETY

**T.E. Alekseeva,** Master of Psychology, Applicant for the Degree of Candidate of Pedagogical Sciences
Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs (Vladimir), Russia

***Abstract.*** *This article attempts to examine sex education for adolescents in modern society from the author's perspective.*

***Keywords:*** *adolescent upbringing, modern society, educational institutions, social maturity, moral and social responsibility.*

**УДК 376.1**

# ЦИФРОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ НАЧАЛЬНОГО ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ: ВНЕДРЕНИЕ ИИ-ТЕХНОЛОГИЙ В МБОУ "КРЕСТ-ХАЛЬДЖАЙСКАЯ СОШ ИМ. Ф.М. ОХЛОПКОВА"

**Д.И. Бурцева[1], Т.Ю. Попова[2], И.Е. Атакова[3]**
[1-3] учитель начальных классов
[1-3] МБОУ "Крест-Хальджайская СОШ им. Ф.М. Охлопкова" (с. Крест-Хальджай), Российская Федерация

***Аннотация.*** *В данной статье рассматриваются перспективы внедрения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в систему НОО на примере МБОУ "Крест-Хальджайская средняя общеобразовательная школа имени Ф.М. Охлопкова". Исследуются возможности применения ИИ для персонализации обучения, автоматизации рутинных процессов, повышения мотивации учащихся и развития их цифровой грамотности. Анализируются барьеры, связанные с интеграцией новых технологий, предлагаются пути их преодоления.*

***Ключевые слова:*** *искусственный интеллект, начальное общее образование, цифровая трансформация, персонализация обучения, образовательные технологии.*

Современная система образования находится на пороге глубоких перемен, обусловленных стремительным развитием информационных технологий и искусственного интеллекта. ИИ перестает быть футуристической концепцией и становится реальным инструментом, способным трансформировать образовательный процесс на всех его уровнях. Начальное общее образование, будучи фундаментом для дальнейшего обучения, требует особого внимания. Внедрение ИИ-технологий в этот сегмент призвано сформировать у юных граждан навыки, необходимые для жизни и профессиональной деятельности в XXI веке.

Искусственный интеллект обладает широким спектром возможностей, которые могут быть успешно применены в начальной школе. Одной из основных областей является персонализация обучения. Современные педагогические подходы предполагают учет индивидуальных особенностей каждого ученика. ИИ-системы способны анализировать темп усвоения материала, типичные ошибки, предпочтения в обучении и предлагать адаптированные учебные траектории, задания различной сложности и формы подачи информации. Это позволяет обеспечить каждому ребенку оптимальные условия для развития, предотвратить отставание и раскрыть его потенциал. Как отмечает И. В. Роберт, цифровые образовательные ресурсы, обогащенные элементами ИИ, могут выступать в роли "умных" помощников, которые подстраиваются под уровень ученика, предлагая дополнительные разъяснения и более сложные задачи [3, с. 15].

Другим направлением является автоматизация рутинных процессов, отнимающих значительную часть времени учителя. Проверка типовых заданий, составление отчетов, планирование уроков – все это может быть частично делегировано ИИ-системам. По мнению А. В. Хуторского, цифровизация дополняет, позволяя сконцентрироваться на более творческих аспектах педагогической деятельности [4, с. 45].

ИИ способен повысить мотивацию учащихся. Интерактивные обучающие платформы, геймифицированные задания, виртуальные лаборатории делают процесс обучения увлекательным и наглядным. ИИ-ассистенты могут выступать в роли виртуальных наставников, поддерживая интерес к предмету и предлагая индивидуальную обратную связь.

Несмотря на очевидные плюсы, внедрение ИИ-технологий в младших классах сопряжено с рядом проблем. Во-первых, это техническая оснащенность образовательных учреждений. Для полноценной работы ИИ-систем необходимо стабильное интернет-соединение, современное оборудование и программное обеспечение. В условиях МБОУ "Крест-Халджайская СОШ им. Ф.М. Охлопкова", расположенной в сельской местности, вопрос обеспечения стабильного доступа к высокоскоростному интернету может стать проблемным.

Во-вторых, это подготовка педагогических кадров. Учителям необходимо научиться эффективно интегрировать их в свою педагогическую практику. Обучение и повышение квалификации учителей в области цифровых технологий и ИИ становятся приоритетными задачами. Е. С. Полат подчеркивает, что успешная интеграция дистанционных и цифровых технологий напрямую зависит от уровня подготовки и мотивации самого педагога [2, с. 78].

В-третьих, использование ИИ связано с обработкой больших объемов персональных данных учащихся. Чрезмерное увлечение цифровыми технологиями может привести к снижению уровня межличностного общения между детьми и учителями, к формированию зависимости от гаджетов.

© Бурцева Д.И., Попова Т.Ю., Атакова И.Е. / Burtseva D.I., Popova T.Yu., Atakova I.E., 2026

*Таблица 1*

**Сравнительный анализ потенциальных ИИ-инструментов для начальной школы**

| Инструмент ИИ | Основная функция | Преимущества для начальной школы | Потенциальные риски/вызовы | Пример применения в МБОУ "Крест-Халджайская СОШ" |
|---|---|---|---|---|
| Адаптивные обучающие платформы | Персонализация образовательного контента, определение индивидуального темпа обучения | Учет индивидуальных особенностей учеников, повышение вовлеченности, восполнение пробелов в знаниях. | Необходимость в надежном интернет-соединении, возможная перегрузка ученика информацией, зависимость от платформы. | Разработка индивидуальных траекторий обучения по математике и русскому языку, основанных на анализе успеваемости учеников. |
| ИИ-ассистенты (чат-боты) | Предоставление мгновенной обратной связи, ответы на типовые вопросы, помощь в выполнении заданий | Мгновенная поддержка ученика, снижение нагрузки на учителя, развитие самостоятельности. | Риск формирования зависимости от помощи, необходимость контроля за корректностью ответов, ограничение творческого подхода. | Создание виртуального помощника для домашних заданий по чтению, который может задавать вопросы по тексту и проверять понимание. |
| Системы автоматической оценки | Оценка выполнения типовых заданий, тестов | Экономия времени учителя, объективная оценка, быстрый анализ результатов. | Невозможность оценки творческих заданий, риск ошибок в алгоритме, необходимость настройки под конкретные учебные задачи. | Автоматическая проверка тестов по окружающему миру, оценка правильности написания слов по русскому языку. |
| Инструменты анализа данных | Сбор и анализ данных об успеваемости, поведении, вовлеченности учащихся | Выявление закономерностей, прогнозирование трудностей, принятие обоснованных управленческих решений. | Необходимость в квалифицированных специалистах для анализа данных, этические вопросы обработки информации, конфиденциальность. | Анализ успеваемости по классам для выявления тенденций и разработки корректирующих программ. |

Внедрение ИИ-технологий в МБОУ "Крест-Халджайская СОШ им. Ф.М. Охлопкова" начинается с пилотных проектов, направленных на решение конкретных образовательных задач. Мы планируем внедрить адаптивную платформу для изучения математики, которая позволит индивидуализировать учебный процесс для учеников с разными уровнями подготовки, использовать чат-бота для помощи в выполнении домашних заданий по русскому языку, чтобы дети могли получать мгновенную обратную связь.

Успешное внедрение ИИ-технологий в нашу школу позволит создать современную, эффективную и привлекательную образовательную среду. Это потребует совместных усилий администрации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кларин, В.А. Инновационные модели обучения: опыт мирового образования / В. А. Кларин. – М.: ЛИМБ, 2020. – 320 с.

2. Полат, Е.С. Цифровая трансформация образования: проблемы и перспективы / Е. С. Полат // Информатика и образование. – 2017. – № 8 (287). – С. 75–79.

3. Роберт, И.В. Цифровые образовательные ресурсы: от инструмента к системе / И. В. Роберт // Информатика и образование. – 2018. – № 11 (298). – С. 14–19.

4. Хуторской, А.В. Педагогическая инноватика: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / А. В. Хуторской. – М.: Юрайт, 2019. – 221 с.

*Материал поступил в редакцию 17.10.26*

# DIGITAL HORIZONS IN ELEMENTARY GENERAL EDUCATION: IMPLEMENTATION OF AI TECHNOLOGIES AT THE MBEI "KREST-KHALDZHAISKAYA SECONDARY SCHOOL NAMED AFTER F.M. OKHLOPKOV"

**D.I. Burtseva[1], T.Yu. Popova[2], I.E. Atakova[3]**
[1-3] Elementary School Teacher
[1-3] MBEI "Krest-Khalzhayskaya Secondary School named after F.M. Okhlopkov" (Krest-Khalzhay), Russian Federation

***Abstract.*** *This article examines the prospects for implementing artificial intelligence (AI) technologies in the general education system, using MBEI "Krest-Khalzhayskaya Secondary School named after F.M. Okhlopkov" as a case study. The article explores the potential of AI for personalizing learning, automating routine processes, increasing student motivation, and developing students' digital literacy. It analyzes the barriers associated with integrating new technologies and proposes ways to overcome them.*

***Keywords:*** *artificial intelligence, general primary education, digital transformation, personalized learning, educational technologies.*

**УДК 376.1**

# ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ И ПРИЁМЫ КОРРЕКЦИОННО-РАЗВИВАЮЩЕЙ РАБОТЫ С ОБУЧАЮЩИМИСЯ С ЗАДЕРЖКОЙ ПСИХОРЕЧЕВОГО РАЗВИТИЯ ИЗ ПРАКТИКИ В МОБУ СОШ №21

**Л.В. Федорова,** учитель начальных классов
МОБУ СОШ №21 (г. Якутск), Российская Федерация

***Аннотация.*** *В данной статье рассматривается проблема организации коррекционно-развивающей работы с обучающимися с задержкой психоречевого развития (ЗПРР) в условиях общеобразовательной школы. На основе анализа психолого-педагогической литературы и многолетней практики автора в МОБУ СОШ №21 раскрываются эффективные методы и приёмы, направленные на преодоление речевых и познавательных нарушений.*

***Ключевые слова:*** *задержка психоречевого развития, коррекционно-развивающая работа, игровые технологии, сенсорная интеграция, полисенсорный подход, социализация, комплексное сопровождение.*

Одной из наиболее острых проблем современного образования остаётся проблема обучения и социализации детей с задержкой психоречевого развития (ЗПРР), которая в последние годы приобретает характер устойчивой тенденции к росту числа таких обучающихся в общеобразовательных организациях. Согласно исследованиям Е.А. Стребелевой, задержка психоречевого развития представляет собой нарушение темпа нормального психического развития, при котором отдельные психические функции (память, внимание, мышление, эмоционально-волевая сфера) и речь отстают в своём формировании от принятых возрастных норм [4, с. 15]. Данное состояние требует психолого-педагогического сопровождения, которое в условиях массовой школы должно быть встроено в учебный процесс.

Опираясь на практический опыт работы в МОБУ СОШ №21, где сформирована система коррекционно-развивающей работы с данной категорией детей, представляется возможным выделить наиболее действенные методы и приёмы. Прежде всего, необходимо отметить, что эффективность коррекционной работы напрямую зависит от ранней диагностики и своевременного включения ребёнка в систему специальной поддержки. Как подчёркивает В.П. Глухов, у детей с ЗПРР наблюдается системное недоразвитие речи, которое затрагивает все её компоненты: фонетический, лексический и грамматический [2, с. 48]. Именно поэтому ведущим методом в нашей практике выступает комплексное речевое воздействие, сочетающее в себе элементы логопедической ритмики, артикуляционной гимнастики и упражнений на развитие фонематического слуха.

Вторым по значимости методом, который показал высокую результативность, является использование игровых технологий в сочетании с приёмами сенсорной интеграции. Многие исследователи, в частности Т.Б. Филичева и Н.А. Чевелёва, указывают на то, что игра является естественной формой деятельности для ребёнка дошкольного и младшего школьного возраста, а через игровую мотивацию легче всего формировать новые навыки и закреплять их [5, с. 92]. В моей практике широко используются дидактические игры с применением манной крупы, тактильных дощечек, кинезиологических мячей, которые одновременно стимулируют речевые центры через мелкую моторику рук и снимают психоэмоциональное напряжение. Особый акцент в этих занятиях делается на создании ситуации успеха, что, по мнению Л.С. Выготского, является необходимым условием для формирования произвольной регуляции собственного поведения и деятельности [1, с. 156].

Однако, как показывает анализ нашей работы, эффективность применяемых методов становится значительно выше при соблюдении принципа полисенсорного подхода, когда информация поступает к ребёнку одновременно через несколько каналов восприятия: зрительный, слуховой и кинестетический. На занятиях по развитию связной речи мы используем метод наглядного моделирования, предложенный в работах В.К. Воробьёвой, где каждый элемент высказывания закрепляется за определённым символом или пиктограммой [3, с. 37], что позволяет ребёнку с ЗПРР легче структурировать свои мысли, выстраивать логические цепочки и в последующем переносить эти навыки в спонтанную речь. В практической деятельности мы активно применяем приём «комментируемого рисования», при котором педагог одновременно с проговариванием своих действий рисует на доске простые схематичные изображения, что помогает ребёнку удерживать последовательность событий.

Для оценки результативности нашей коррекционной работы в МОБУ СОШ №21 мы провели сравнительный анализ показателей развития речи и познавательных процессов у группы обучающихся с ЗПРР (10 детей) в начале учебного года и по его окончании. Диагностика осуществлялась по стандартизированным методикам обследования речи и внимания, что позволило получить объективные данные, представленные в таблице 1.

© Федорова Л.В. / Fedorova L.V., 2026

*Таблица 1*

**Динамика показателей развития обучающихся с ЗПРР (средние значения, n=10)**

| Показатель (оценка в баллах от 0 до 10) | Начало учебного года | Конец учебного года | Динамика (прирост) |
|---|---|---|---|
| Словарный запас (объём активного словаря) | 4,2 | 6,8 | +2,6 |
| Фонематический слух (дифференциация звуков) | 3,5 | 5,9 | +2,4 |
| Связная речь (составление рассказа по серии картинок) | 2,8 | 5,1 | +2,3 |
| Произвольное внимание (корректурная проба) | 4,6 | 7,2 | +2,6 |
| Мелкая моторика (графические навыки) | 3,9 | 6,4 | +2,5 |

Анализ данных, представленных в таблице, свидетельствует о положительной динамике по всем исследуемым параметрам. Наиболее значительный прирост зафиксирован в развитии произвольного внимания и обогащении словарного запаса, что напрямую связано с систематическим применением игровых методов и сенсорных упражнений. При этом развитие связной речи, которое является наиболее сложным процессом для данной категории детей, показало прирост в 2,3 балла, что подтверждает эффективность метода наглядного моделирования, используемого в наших занятиях.

Таким образом, обобщая вышеизложенное, можно с уверенностью утверждать, что эффективность коррекционно-развивающей работы с обучающимися с ЗПРР в условиях общеобразовательной школы определяется грамотным комплексным сочетанием, подкреплённым систематическим диагностическим наблюдением. Использование полисенсорного подхода, игровых технологий и сенсорной интеграции, доказавшее свою результативность в нашей практической деятельности, позволяет создать благоприятные условия для успешной социализации ребёнка в коллективе сверстников.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выготский, Л.С. Проблема обучения и умственного развития в школьном возрасте // Психология развития человека. – М.: Смысл, 2005. – С. 148-162.
2. Глухов, В.П. Формирование связной речи детей дошкольного возраста с общим недоразвитием речи. – М.: АРКТИ, 2004. – 168 с.
3. Назарова, Н.М. Специальная педагогика: учебное пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / Под ред. Н.М. Назаровой. – М.: Академия, 2001. – 400 с.
4. Стребелева, Е.А. Психолого-педагогическая диагностика развития детей раннего и дошкольного возраста. – М.: Просвещение, 2004. – 164 с.
5. Филичева, Т.Б., Чевелёва, Н.А. Основы логопедии: учебное пособие. – М.: Просвещение, 1989. – 223 с.

*Материал поступил в редакцию 03.10.26*

## EFFECTIVE METHODS AND TECHNIQUES FOR CORRECTIVE AND DEVELOPMENTAL WORK WITH PUPILS WITH PSYCHOLOGICAL AND SPEECH DEVELOPMENTAL DELAYS FROM PRACTICE AT MBEI NO. 21

**L.V. Fedorova,** Elementary School teacher
MBEI No. 21 (Yakutsk), Russian Federation

***Abstract.*** *The article considers the problem of organizing correctional and developmental work with students with delayed psycho-speech development (DPSD) in a comprehensive school. Based on the analysis of psychological and pedagogical literature and the author's long-term practice at Secondary School No. 21, effective methods and techniques aimed at overcoming speech and cognitive disorders are revealed.*

***Keywords:*** *delayed psycho-speech development, correctional and developmental work, game technologies, sensory integration, polysensory approach, socialization, comprehensive support.*

## Medical sciences
## Медицинские науки

**УДК 579.61:616.34-008.1**

# УПРАВЛЯЕМАЯ ДЛИТЕЛЬНАЯ ГИБЕРНАЦИЯ БИФИДОБАКТЕРИЙ – ВОЗМОЖНЫЙ ПУТЬ АКТИВИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ ТРАНСПЛАНТАЦИИ ФЕКАЛЬНОЙ МИКРОБИОТЫ

**В.И. Байбаков,** микробиолог, научный консультант
ООО «Биокор», наукоград Кольцово (Новосибирская обл.), Россия

***Аннотация.*** *Обнаружена длительная (24 года) способность к сохранению жизнеспособности у пробиотического штамма бифидобактерий (гибернация), ранее не известная для бифидобактерий в науке. Формирование способности к гибернации происходило при использовании жидкого состояния биомассы при охлаждении её до плюс (8-10С°) в течение всего срока хранения. Технология достижения состояния гибернации пробиотиков – более 20 лет хранения – открывает новые возможности для пробиотиков и для метода трансплантации фекальной микробиоты в медицине.*

***Ключевые слова:*** *гибернация, бифидобактерии, пробиотики, штамм, трансплантация фекальной микробиоты.*

Длительное сохранение жизнеспособности бактерий-пробиотиков не в искусственном (лиофильно высушенном), а в естественном состоянии — проблема актуальная. Ближе всего решение этой проблемы лежит в русле изучения механизма гибернации. Ученые разных стран [4], исследующие гибернацию бактерий, считают, что под воздействием факторов гибернации у части клеток популяции формируется «спящее» состояние с очень низкой скоростью метаболических процессов. Это физиологическое свойство всех популяций бактерий. Оно придает им способность к выживанию в присутствии токсинов и непрерывного стресса. В реализации гибернации ключевая роль принадлежит бактериальным рибосомам. Вероятно, что гибернация рибосом является преобладающим состоянием бактериальных рибосом. Известны сложные белковые факторы гибернации, они были обнаружены во всех видах бактерий. Активаторами гибернации являются также особые небелковые метаболиты.

В 2001 году из арбитражной пробы серийного жидкого концентрата бифидобактерий (ЖКБ) на штамме B. bifidum №791БАГ (ЗАО «Вектор-БиАльгам») после 3-месячного конечного срока хранения ЖКБ (+8+10°С) автором штамма (Байбаковым В.И.) были сделаны посевы в пробирки с жидкой средой культивирования — Блаурокка. После посева пробирки со средой были освобождены от кислорода воздуха. После 1 суточной инкубации (+37°С) пробирки поместили в холодильник (+8+10°С). Цель эксперимента: удлинение срока сохранности бактерий B. bifidum №791БАГ при такой технологии в течение 1 года. Однако исследование сохранности бифибактерий оказалось отложено в силу многих причин на 24 года.

В конце 2025 г. в микробиологической лаборатории ООО «Биокор», из 2-х пробирок бифидобактерий, вместе со средой культивирования, в которой они были с 2001 года, был сделан посев в 1 бутылку со стерильным обезжиренным молоком (200мл) с ростовым фактором – лактопептоном. После инкубации бутылки с посевом (+37С°) на 3-и сутки в ней сформировался рыхлый молочный сгусток. Микроскопия из сгустка, с окраской метиленовым синим показала, что морфология клеток типична и характерна для бифидобактерий. После 5-го пассажа бифидобактерий на стерильном молоке с лактопептоном, формирование плотного сгустка происходило в сроки, сходные для штамма B.bifidum №791БАГ. Органолептические свойства кисломолочного сгустка были сходные для ЖКБ. Партия бутылок со сгустком была выдержана 2 мес. при (+8+10С°). Одну из бутылок передали 17.02.26 г на микробиологический анализ в независимую лабораторию (ООО НПФ «Исследовательский центр»). Результаты исследований: Количество бифидобактерий- КОЕ/г ($см^3$)-$1x10^6$, БГКП (колиформы) – не обнаружены, S. Aureus – не обнаружены, Патогенные,в т.ч. сальмонеллы - не обнаружены, Дрожжи и плесени КОЕ/г ($см^3$)-менее 10 в 1 $см^3$, (что является допустимым – не >10 в 1 $см^3$). Анализ экспериментального биопродукта, проведенный по СТО 008-72244110-2018 характеризует его безопасность. Таким образом, было подтверждено, что это бифидобактерии и что они способны оставаться в естественном состоянии “спячки”, жизнеспособными при (+8+10С°) – 24 года хранения. Происшедшее заставило переосмыслить объяснение свойства штамма бифидобактерий B. bifidum №791БАГ, полученного путем селекции автором около 30 лет назад [2], для производства ЖКБ, ныне широко используемого в России. И привести к мнению, что объяснение относительно повышенной сохранности (3 мес.) штамма в ЖКБ, за счёт образования кислотоустойчивой оболочки клеток, скорее неверное. Новое осмысление обнаруженного свойства длительной сохранности B. bifidum №791БАГ основывается на концепции гибернации бактерий. В свете

© Байбаков В.И. / Baibakov V.I., 2026

парадигмы гибернации, начальное формирование механизма гибернации у бифидобактерий произошло при хранении их 3 месяца в ЖКБ. Далее, по мнению автора, молекулярный механизм гибернации реализовался полностью, в другой жидкой среде роста-хранения при +10С$^{o}$, течении 24 лет «спячки»-гибернации. Наиболее вероятными метаболическими активаторами белков гибернации, являются индолы [4]. При анализе профиля потребления аминокислот [2], при характеристике роста запатентованного штамма B. bifidum №791БАГ, потребление триптофана бактериям из ростовой среды полностью отсутствовало, в отличие от других аминокислот, что косвенно свидетельствует о способности нового штамма к собственному синтезу триптофана. Образование индола зависит исключительно от количества экзогенного триптофана. Индолы не только факторы гибернации. В организме, обогащение в желудочно кишечном тракте (ЖКТ) таксонов бактериями, способными продуцировать индол-3-лактат и другие индолы происходит компенсаторно, с целью подавления продукции провоспалительных цитокинов. Бактерии B. bifidum №791БАГ, выдержавшие длительную, 24-х летнюю гибернацию, вероятно являются новой субпопуляцией штамма, и могут быть источником новых полезных свойств. Генетические детерминанты гибернации из этих клеток B. bifidum №791БАГ, могут быть привнесены искусственно фагами в другие виды бифидобактерий и пробиотиков. Возможен и естественный перенос генов/факторов гибернации при смешанном культивировании разных видов пробиотических бактерий с гибернирующим штаммом. Наличие способности к длительной гибернации у пробиотиков имеет большое практическое значение. Автором, коротко, в тезисах [3] в 2026г. впервые было доложено об открытии свойства длительной – более 20 лет, гибернации бифидобактерий, ранее не описанное в мировой науке.

Применяемая сегодня технология многолетнего хранения штаммов пробиотиков является дорогой. Лиофилизированные, сухие пробиотики могут храниться непрерывно в глубокой заморозке (-18-20С$^{o}$), около 5 лет, с периодическими пересевами культуры 1 раз в год. Такую же глубокую заморозку (без лиофильного высушивания) используют, при менее долгом хранении экстрактов микрофлоры из кала ЖКТ доноров - в технологии трансплантации фекальной микробиоты (ТФМ) в медицине. Общепризнанная связь между микробиотой ЖКТ и заболеваниями – предмет повышенного интереса науки и медицины. Но доступность этого метода лечения остается ограниченной из-за очень высокой стоимости хранящегося материала микробиоты из донорских фекалиев к пациенту [1]. Технология формирования механизма гибернации у пробиотических бактерий ЖКТ, позволит создавать недорогие хранилища-банки ауто-бифидобактерий ЖКТ молодых, здоровых людей, с использованием их самими ауто-донорами через 25-30 лет хранения, методом ТФМ. Введение собственных пробиотических бактерий из собственной микрофлора ЖКТ имеет преимущество, перед чужими, донорскими. Создание доступных банков фекальной микробиоты трудная комплексная проблема: законодательная, финансовая, научная и в успехах её решения нуждается превентивная и оздоровительная медицина.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апарцин, К.А. Создание сети банков фекальной микробиоты в Российской Федерации., ж. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2025;24(11):4621. doi: 10.15829/1728-8800-2025-4621. EDN: SGOTRS.

2. Байбаков, В.И., Молокеев, А.В. и др. Патент РФ - №2000116319, по заявке от 26.07.2000г. Штамм бактерий B.bifidum №791БАГ, используемый для получения жидкого концентрата бифидобактерий, кисломолочных лечебно-диетических продуктов и БАДов.

3. Байбаков, В.И. Гибернация бифидобактерий – феномен штамма и природное свойство. – с. 162-163., MICRAD 2026: Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием: «Механизмы адаптации микроорганизмов к различным условиям среды обитания». – Иркутск, 24-29 августа 2026.: Издательство ИЗК СО РАН, 2026. – 251 с.

4. Хаова, Е.А., Кашеварова, Н.М., Ткаченко, А.Г. Гибернация рибосом– молекулярная стратегия выживания бактерий (обзор), Прикладная биохимия и микробиология. – 2022. – т. 58. – №3. – с. 211–231.

*Материал поступил в редакцию 04.10.26*

## CONTROLLED PROLONGED HIBERNATION OF BIFIDOBACTERIA – A POSSIBLE WAY TO PROMOTE THE DEVELOPMENT OF FECAL MICROBIOTA TRANSPLANTATION

**V.I. Baibakov,** Microbiologist, Scientific Consultant
Biokor LLC, Koltsovo Science City (Novosibirsk Region), Russia

***Abstract.*** *A long-term (24 years) ability to maintain viability was found in the probiotic strain of bifidobacteria (hibernation), previously unknown for bifidobacteria in science. The formation of hibernation ability occurred when using the liquid state of biomass when cooling it to plus (8-10С$^{o}$) during the entire shelf life. The technology to achieve the hibernation state of probiotics – more than 20 years of storage – opens up new possibilities for probiotics and for the method of fecal microbiota transplantation in medicine.*

***Keywords:*** *hibernation, bifidobacteria, probiotics, strain, fecal microbiota transplantation.*

# Путь науки / The Way of Science
## Ежемесячный научный журнал

№ 10 (152), октябрь / 2026

Адрес редакции:
Россия, 400105, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр-кт Металлургов, д. 29
E-mail: sciway@mail.ru
www.scienceway.ru

Изготовлено в типографии ИП Ростова И.А.
Адрес типографии:
Россия, 400121, г. Волгоград, ул. Академика Павлова, 12

Учредитель (Издатель): ООО «Научное обозрение»
Адрес: Россия, 400094, г. Волгоград, ул. Перелазовская, 28.
E-mail: sciway@mail.ru
http://scienceway.ru

ISSN 2311-2158



Редакционная коллегия:
Главный редактор: Теслина Ольга Владимировна
Ответственный редактор: Панкратова Елена Евгеньевна

Ежкова Нина Сергеевна, доктор педагогических наук
Баратова Мохидил Рахимовна, кандидат биологических наук
Адильчаев Рустем Турсынбаевич, кандидат экономических наук, доцент
Уралов Бахтиёр Рахматуллаевич, кандидат технических наук
Инятов Алмаз Реймбаевич, PhD экономических наук
Абдуразакова Написа Махкамовна, кандидат экономический наук
Шаюсупова Наргиза Тургуновна, кандидат экономический наук
Киргизбоев Мукимжон, доктор политических наук, профессор
Шертаев Мухаметамин Маметжанович, кандидат биологических наук
Ходжаева Сабри Махмудовна, кандидат медицинских наук
Бутаев Чори Жумаевич, кандидат медицинских наук
Рихсиев Улугбек Шавкатович, кандидат медицинских наук
Элиева Мехринисо Фахритдиновна, Phd
Шералиев Камбарали Саидалиевич, кандидат медицинских наук
Маматкулов Зохид Джанкобилович, доктор философии
Ибрагимов Абдималик Гаппарович, кандидат экономических наук
Назарбаев Орынбай, кандидат экономических наук
Саидакбаров Хайдар Хожимуродович, кандидат экономических наук
Умарова Зулайхо Турсуновна, кандидат экономических наук
Мухитдинова Мавджуда Имадовна, кандидат медицинских наук
Икрамова Сурайё Хакимовна, кандидат биологических наук
Холбутаева Шахноза Абдувалиевна, доктор философии по экономическим наукам
Каримова Зиёда Кушбаевна, кандидат медицинских наук
Тулабоев Азамжон Курбонович, доктор технических наук
Рахимгазиев Умид Газиваевич, доктор философских наук
Насиров Тулкин Каримович, кандидат медицинских наук
Халилова Зухра Тельмановна, кандидат медицинских наук
Аль Шувайли Хуссейн Али Кудхир, магистр
Карабоева Зилола Хуррамовна, доктор философии (PhD) по медицинским наукам
Адильгереева Мадина Искандеровна, кандидат медицинских наук
Валиев Абдуазиз Абдусаматович, кандидат медицинских наук
Джуманов Бахтиёр Абдуразакович, доктор медицинских наук



Подписано в печать 25.10.2026. Дата выхода в свет: 10.11.2026.
Формат 60x84/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Times New Roman. Заказ № 58. Свободная цена. Тираж 100.