

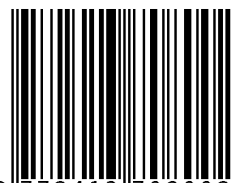


НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 03 (78). АВГУСТ 2026 ГОДА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ № 03 (78). 2026 | ISSN (print) 2413-7081 | ISSN (electronic) 2542-0801

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ИЗДАТЕЛЬСТВА «ПРОБЛЕМЫ НАУКИ»
[HTTPS://SCIENTIFICMAGAZINE.RU](https://scientificmagazine.ru)



9 772413 708002

ISSN 2413-7081 (Print)
ISSN 2542-0801 (Online)

Научный журнал

№ 3 (78), 2026

Москва
2026



Научный журнал

№ 3 (78), 2026

Российский импакт-фактор: 0,12

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Учредитель, главный редактор: Вальцев С.В.

Зам. главного редактора: Кончакова И.В.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Абдуллаев К.Н. (д-р филос. по экон., Азербайджанская Республика), *Алиева В.Р.* (канд. филос. наук, Узбекистан), *Акубаев Н.Н.* (д-р экон. наук, Азербайджанская Республика), *Аликулов С.Р.* (д-р техн. наук, Узбекистан), *Ананьева Е.П.* (д-р филос. наук, Украина), *Асатурова А.В.* (канд. мед. наук, Россия), *Аскарходжаев Н.А.* (канд. биол. наук, Узбекистан), *Байтасов Р.Р.* (канд. с.-х. наук, Белоруссия), *Бакико И.В.* (канд. наук по физ. воспитанию и спорту, Украина), *Бахор Т.А.* (канд. филол. наук, Россия), *Баулина М.В.* (канд. пед. наук, Россия), *Блейх Н.О.* (д-р ист. наук, канд. пед. наук, Россия), *Боброва Н.А.* (д-р юрид. наук, Россия), *Богомолов А.В.* (канд. техн. наук, Россия), *Бородай В.А.* (д-р социол. наук, Россия), *Волков А.Ю.* (д-р экон. наук, Россия), *Гавриленкова И.В.* (канд. пед. наук, Россия), *Гарагонич В.В.* (д-р ист. наук, Украина), *Глуценко А.Г.* (д-р физ.-мат. наук, Россия), *Гринченко В.А.* (канд. техн. наук, Россия), *Губарева Т.И.* (канд. юрид. наук, Россия), *Гутникова А.В.* (канд. филол. наук, Украина), *Датий А.В.* (д-р мед. наук, Россия), *Демчук Н.И.* (канд. экон. наук, Украина), *Дивненко О.В.* (канд. пед. наук, Россия), *Дмитриева О.А.* (д-р филол. наук, Россия), *Доленко Г.Н.* (д-р хим. наук, Россия), *Есенова К.У.* (д-р филол. наук, Казахстан), *Жамулидинов В.Н.* (канд. юрид. наук, Казахстан), *Жолдошев С.Т.* (д-р мед. наук, Кыргызская Республика), *Зеленков М.Ю.* (д-р полит. наук, канд. воен. наук, Россия), *Ибадов Р.М.* (д-р физ.-мат. наук, Узбекистан), *Ильинских Н.Н.* (д-р биол. наук, Россия), *Кайракбаев А.К.* (канд. физ.-мат. наук, Казахстан), *Кафтаева М.В.* (д-р техн. наук, Россия), *Киквидзе И.Д.* (д-р филол. наук, Грузия), *Клинов Г.Т.* (PhD in Pedagogic Sc., Болгария), *Кобланов Ж.Т.* (канд. филол. наук, Казахстан), *Ковалёв М.Н.* (канд. экон. наук, Белоруссия), *Кравцова Т.М.* (канд. психол. наук, Казахстан), *Кузьмин С.Б.* (д-р геогр. наук, Россия), *Куликова Э.Г.* (д-р филол. наук, Россия), *Курманбаева М.С.* (д-р биол. наук, Казахстан), *Курпаяниди К.И.* (канд. экон. наук, Узбекистан), *Линькова-Даниельс Н.А.* (канд. пед. наук, Австралия), *Лукиенко Л.В.* (д-р техн. наук, Россия), *Макаров А.Н.* (д-р филол. наук, Россия), *Мацаренко Т.Н.* (канд. пед. наук, Россия), *Мейманов Б.К.* (д-р экон. наук, Кыргызская Республика), *Мурадов Ш.О.* (д-р техн. наук, Узбекистан), *Мусаев Ф.А.* (д-р филос. наук, Узбекистан), *Набиев А.А.* (д-р наук по геоинформ., Азербайджанская Республика), *Назаров Р.Р.* (канд. филос. наук, Узбекистан), *Наумов В. А.* (д-р техн. наук, Россия), *Овчинников Ю.Д.* (канд. техн. наук, Россия), *Петров В.О.* (д-р искусствоведения, Россия), *Радкевич М.В.* (д-р техн. наук, Узбекистан), *Рахимбеков С.М.* (д-р техн. наук, Казахстан), *Розыходжаева Г.А.* (д-р мед. наук, Узбекистан), *Романенкова Ю.В.* (д-р искусствоведения, Украина), *Рубцова М.В.* (д-р социол. наук, Россия), *Румянцев Д.Е.* (д-р биол. наук, Россия), *Самков А. В.* (д-р техн. наук, Россия), *Саньков П.Н.* (канд. техн. наук, Украина), *Селитренникова Т.А.* (д-р пед. наук, Россия), *Сибирцев В.А.* (д-р экон. наук, Россия), *Скрипко Т.А.* (д-р экон. наук, Украина), *Сопов А.В.* (д-р ист. наук, Россия), *Стрекалов В.Н.* (д-р физ.-мат. наук, Россия), *Стукаленко Н.М.* (д-р пед. наук, Казахстан), *Субачев Ю.В.* (канд. техн. наук, Россия), *Шулейманов С.Ф.* (канд. мед. наук, Узбекистан), *Трегуб И.В.* (д-р экон. наук, канд. техн. наук, Россия), *Упоров И.В.* (канд. юрид. наук, д-р ист. наук, Россия), *Федоськина Л.А.* (канд. экон. наук, Россия), *Хилтухина Е.Г.* (д-р филос. наук, Россия), *Цицулян С.В.* (канд. экон. наук, Республика Армения), *Чиладзе Г.Б.* (д-р юрид. наук, Грузия), *Шамишина И.Г.* (канд. пед. наук, Россия), *Шарипов М.С.* (канд. техн. наук, Узбекистан), *Шевко Д.Г.* (канд. техн. наук, Россия).

Подписано в печать:

23.08.2026

Дата выхода в свет:

30.08.2026

Формат 70х100/16.

Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс».

Печать офсетная.

Усл. печ. л. 2,437

Тираж 100 экз.

Заказ № 0263

ИЗДАТЕЛЬСТВО

«Проблемы науки»

Территория

распространения:

зарубежные страны,

Российская

Федерация

Журнал

зарегистрирован

Федеральной службой

по надзору в сфере

связи, информационных

технологий и массовых

коммуникаций

(Роскомнадзор)

Реестровая запись

ПИ № ФС77 - 63075

Издается с 2015 года

Свободная цена

Содержание

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ.....	4
<i>Спиричев Ю.А. ДЕДУКТИВНЫЙ ФОРМАЛИЗМ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ.</i>	
ЧАСТЬ 1	4
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ.....	13
<i>Khoshimov F.A., Temirova R.Sh., Keunimjaeva A.K. ADVANCED 5D EDUCATIONAL SIMULATION SYSTEMS FOR HIGHER-ORDER LEARNING: INTERNATIONAL RESEARCH PERSPECTIVES FROM LEADING SCIENTIFIC SCHOOLS</i>	<i>13</i>
<i>Свиридов В.В. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ АЭРАЦИИ ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ В СТАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ</i>	<i>16</i>
ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ	21
<i>Сивак П.Д. ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЭКСПРЕССИВНОСТИ В СТРУКТУРЕ ПОСТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПАБЛИКА (НА МАТЕРИАЛЕ СООБЩЕСТВА «НАВИГАТОРЫ ДЕТСТВА. ПРИМОРСКИЙ КРАЙ»)</i>	<i>21</i>
ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ.....	26
<i>Чыонг В.Ш., Нгуен В.Х. МЕТОДЫ ПРЕПОДАВАНИЯ И ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ В УСЛОВИЯХ ОТСУТСТВИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ (ЗАНЯТИЯ НА ОТКРЫТОМ ВОЗДУХЕ)</i>	<i>26</i>

ДЕДУКТИВНЫЙ ФОРМАЛИЗМ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

ЧАСТЬ 1

Спиричев Ю.А.

Спиричев Юрий Алексеевич – главный специалист,

АО «Научно-исследовательский и конструкторский институт радиоэлектронной техники»,
г. Заречный

Аннотация: *развит дедуктивный формализм электродинамики на основе четырехмерной псевдоевклидовой геометрии, предложенный А. Пуанкаре и Г. Минковским. На основе дедуктивного формализма расширено описание и уточнены уравнения движения электромагнитного поля. Решены проблемы нарушения третьего закона Ньютона в электродинамике, явления магнитного динамо, бесконечной скорости в законе Гаусса для электрического поля. Получено новое дополнительное волновое уравнение распространения электромагнитного поля, которое предположительно интерпретируется как уравнение фотона. Получено волновое уравнение для скалярных продольных волн растяжения/сжатия электромагнитного поля.*

Ключевые слова: *дедуктивный формализм, электродинамика, псевдоевклидова геометрия, теория Максвелла, уравнение фотона, продольные волны, электромагнитное поле.*

DOI 10.24411/2413-7081-2026-10301

1 Введение

Теория электромагнитного поля (ЭМП) и взаимодействия электрических зарядов и токов, создана Дж. Максвеллом (1861-1865 гг.) индуктивным методом на основе обобщения экспериментальных фактов, накопленных за тот исторический период. При ее создании все известные электромагнитные явления уже были удовлетворительно объяснены известными физиками Фарадеем, Ампером, Гауссом, Вебером и другим исследователями и потому теория Дж. Максвелла была принята равнодушно. Звездный час теории настал через двадцать лет, после открытия Г. Герцем в 1888 году предсказанных Дж. Максвеллом электромагнитных волн, и которые теперь имеют огромное практическое значение для человечества. Теоретическое открытие электромагнитных волн можно назвать главным новым результатом теории Максвелла, подтверждающим удивительную эффективность математики, но было и другое, не менее фундаментальное открытие. После экспериментов Г. Герца к развитию теории Дж. Максвелла присоединились многие ведущие физики и математики того времени. Изучение свойств уравнений Дж. Максвелла показало, что они не сохраняют своего вида при преобразованиях Галилея и возникает экспериментальная возможность отличать одну движущуюся инерциальную систему координат от другой с помощью электромагнитных или оптических измерений. Однако опыты А. Майкельсона и др. дали отрицательные результаты. Для решения этой проблемы в 1892 году Х. Лоренц изменил преобразования Галилея для описания перехода из одной инерциальной системы в другую. Анализируя теорию Максвелла и работы Х. Лоренца А. Пуанкаре в 1904 году [1] сделал фундаментальное открытие новой геометрии нашего мира - четырехмерного псевдоевклидова пространства-времени. Именно в этом пространстве протекают все физические процессы нашего мира, а закон сохранения энергии-импульса и волновые уравнения ЭМП являются прямым следствием этой геометрии. Теорию псевдоевклидова пространства-времени в дальнейшем развил Г.

Минковский и оно получило название пространство Минковского. А. Пуанкаре и Г. Минковский были математиками и для них был естественным переход к четырехмерным физическим показателям. Для описания ЭМП и его источников А. Пуанкаре ввел четырехмерный электромагнитный потенциал $A_\mu(\frac{1}{c}\varphi, i\mathbf{A})$ и четырехмерную плотность тока $J_\mu(c\rho, i\mathbf{j})$ $\mu=0,1,2,3$, положив начало дедуктивному формализму электродинамики.

Г. Минковский продолжил эти работы и создал описание ЭМП в виде четырехмерного антисимметричного тензора второго ранга для напряженностей ЭМП $\mathbf{E}$ и $\mathbf{B}$. Такое описание является исторически сложившимся, считается классическим и широко применяется в учебной литературе. Описание ЭМП введенное А. Пуанкаре в виде электромагнитного потенциала является более фундаментальным, так как эти характеристики ЭМП являются энергетическими, а силовые характеристики $\mathbf{E}$ и $\mathbf{B}$ следуют из энергетических характеристик в виде их производных. Поэтому в квантовой электродинамике и теории поля применяют электромагнитные потенциалы, связанные с энергией. Использование электромагнитного потенциала значительно упрощает уравнения Дж. Максвелла, превращая некоторые из них в математические тождества, а также устраняет неоднозначность в напряженности электрического поля, которая может быть потенциальной и вихревой, и имеет различное описание в потенциалах. По поводу введения формализма четырехмерного электромагнитного потенциала А. Зоммерфельд высказался так: «действительная математическая природа этого образования только теперь сможет выступить во всей своей красоте, как выступает горный ландшафт, когда рассеивается туман». Эти слова А. Зоммерфельда могут служить эпиграфом к настоящей работе. Поскольку все физические процессы, в том числе основные законы механики и электродинамики, являются прямым следствием псевдоевклидовой геометрии нашего мира, то появляется возможность дедуктивного вывода этих законов.

Темой настоящей статьи является вывод основных законов электродинамики методом дедуктивного формализма и их сравнение с законами, полученными Дж. Максвеллом индуктивным методом.

2 Дедуктивный формализм электродинамики

Основой и начальной точкой описания ЭМП и его источников в дедуктивном формализме являются введенные А. Пуанкаре векторы четырехмерного электромагнитного потенциала $A_\alpha(\frac{1}{c}\varphi, i\mathbf{A})$ и плотности тока $J_\alpha(c\rho, i\mathbf{j})$ $\mu=0,1,2,3$. Схема дедуктивного формализма получения основных законов электродинамики приведена на рисунке 1. В соответствии с этим формализмом дедуктивный метод разделяется на две ветви. В первой ветви мы получаем тензор напряженностей ЭМП в виде четырехмерной производной $\partial_\alpha(\partial_i/c, -i\cdot\nabla)$ электромагнитного потенциала $\mathbf{F}_{\alpha\beta} = \partial_\alpha A_\beta - \partial_\beta A_\alpha$. Из которого далее получаем уравнения ЭМП, уравнения распространения ЭМП в пространстве, тензор энергии-импульса (ТЭИ) и уравнения закона сохранения энергии-импульса. Во второй ветви получаем ТЭИ взаимодействия электромагнитного потенциала $A_\alpha(\frac{1}{c}\varphi, i\mathbf{A})$ с плотностью тока $J_\alpha(c\rho, i\mathbf{j})$. Из которого далее получаем уравнения закона сохранения энергии-импульса и все виды электромагнитных сил взаимодействия ЭМП и его источников.

В первой части настоящей работы основное внимание уделено расширению описания ЭМП, получению уравнений движения ЭМП и волновых уравнений. Вторая ветвь дедуктивного формализма, описывающая электромагнитные силы и другие вопросы будут рассмотрены во второй части настоящей работы.

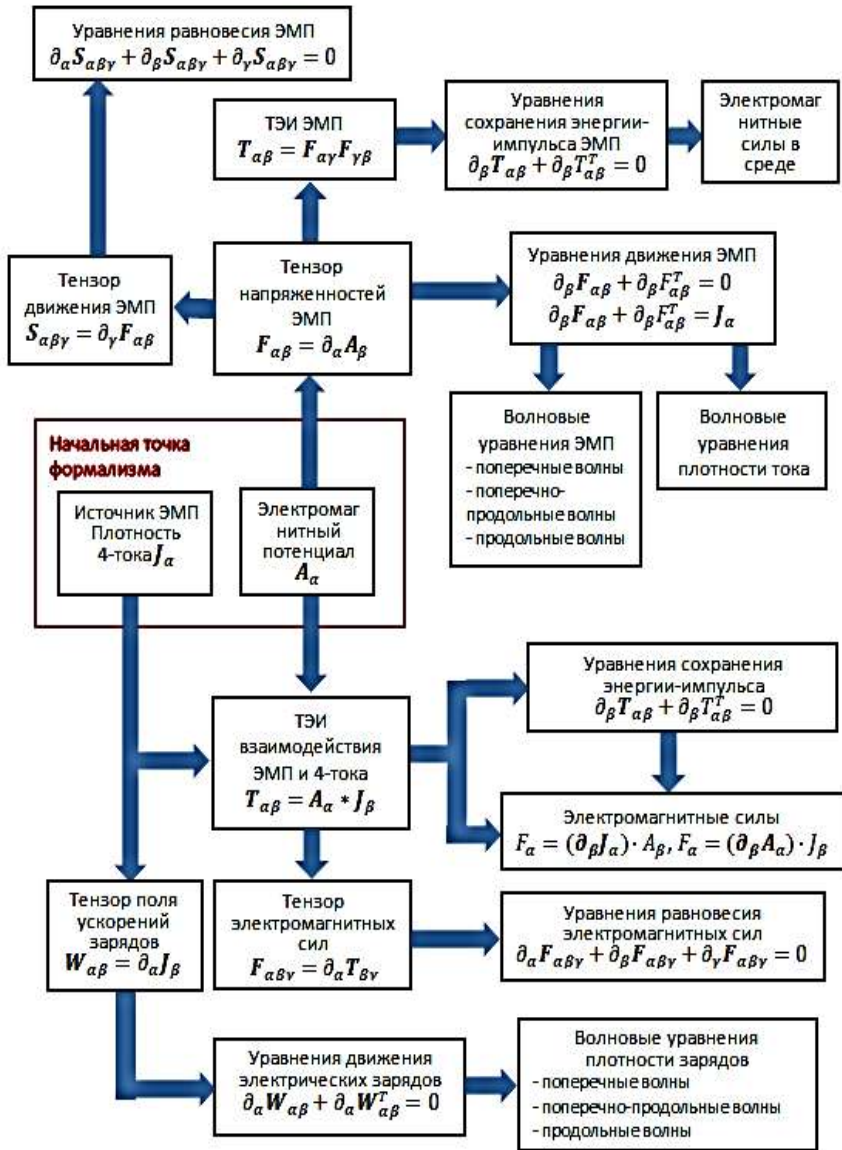


Рис.1. Дедуктивный формализм электродинамики.

3 Описание ЭМП в дедуктивной электродинамике

Тензор напряженностей $F_{\alpha\beta} = \partial_\alpha A_\beta$ является несимметричным и его можно однозначно разложить на симметричный тензор ЭМП $F_{(\alpha\beta)}$ и антисимметричный тензор ЭМП $F_{[\alpha\beta]}$.

$$F_{\alpha\beta} = F_{(\alpha\beta)} + F_{[\alpha\beta]} = \frac{1}{2}(\partial_\alpha A_\beta + \partial_\beta A_\alpha) + \frac{1}{2}(\partial_\alpha A_\beta - \partial_\beta A_\alpha) \quad (1)$$

Далее несимметричный тензор ЭМП $F_{\alpha\beta} = \partial_\alpha A_\beta$ будем называть полным тензором ЭМП. Антисимметричный тензор ЭМП $F_{[\alpha\beta]}$ в электродинамике ввел Г.

Минковский для четырехмерного описания напряженностей ЭМП и вывода уравнений Дж. Максвелла. Из разложения (1) можно сделать заключение о том, что из производной электромагнитного потенциала $\mathbf{F}_{\alpha\beta} = \partial_\alpha \mathbf{A}_\beta$ следует более общее описание ЭМП, чем было принято Минковским. К каким физическим выводам приводит антисимметричный тензор ЭМП, мы хорошо знаем из учебных курсов электродинамики. Поэтому рассмотрим физические выводы, к которым приводит симметричный тензор ЭМП и сравним их с выводами, сделанными из антисимметричного тензора ЭМП, полученными в процессе развития электродинамики. Если провести аналогию с механикой сплошной среды, то можно сделать предположение о том, что антисимметричный тензор ЭМП описывает малые четырехмерные вращения ЭМП, так как является четырехмерным ротором, а симметричный тензор ЭМП описывает четырехмерную деформацию ЭМП. Поскольку математические действия по получению уравнений из тензоров ЭМП единообразны (находим дивергенцию тензора в декартовых координатах для каждого из индексов), то мы можем получить уравнения электродинамики отдельно

а) из исходного несимметричного тензора ЭМП $\mathbf{F}_{\alpha\beta} = \partial_\alpha \mathbf{A}_\beta$,

б) из симметричного тензора ЭМП $\mathbf{F}_{(\alpha\beta)}$,

в) из антисимметричного тензора ЭМП $\mathbf{F}_{[\alpha\beta]}$, и сравнить полученные результаты.

Очевидно, что сумма уравнений, полученных в правой части разложения (1) должна быть равна уравнениям, полученным в его левой части. Поскольку тензор ЭМП имеет второй ранг, то можно найти две его дивергенции по каждому из индексов, при этом в общем случае, результаты будут различными. Следовательно, в общем случае полная дивергенция тензора второго ранга равна сумме его дивергенций по каждому из его индексов. У симметричного тензора второго ранга его дивергенции по каждому из его индексов равны, а полная дивергенция равна удвоенной дивергенции по любому из индексов. У антисимметричного тензора его дивергенции по каждому из индексов равны и противоположны по знаку, а полная дивергенция равна нулю. Это естественно, так как антисимметричный тензор второго ранга является четырехмерным ротором, не имеющим источников. Проверим вышесказанное, получив полные дивергенции несимметричного тензора ЭМП $\mathbf{F}_{\alpha\beta}$ и симметричного тензора ЭМП $\mathbf{F}_{(\alpha\beta)}$. Они должны быть равными. Запишем симметричный тензор ЭМП $\mathbf{F}_{(\alpha\beta)}$ в матричной форме

$$\mathbf{F}_{(\alpha\beta)} = \begin{pmatrix} 2\frac{1}{c^2}\partial_t\varphi & \frac{1}{c}i\cdot(\partial_t A_x - \partial_x\varphi) & \frac{1}{c}i\cdot(\partial_t A_y - \partial_y\varphi) & \frac{1}{c}i\cdot(\partial_t A_z - \partial_z\varphi) \\ \frac{1}{c}i\cdot(\partial_t A_x - \partial_x\varphi) & 2\partial_x A_x & (\partial_x A_y + \partial_y A_x) & (\partial_x A_z + \partial_z A_x) \\ \frac{1}{c}i\cdot(\partial_t A_y - \partial_y\varphi) & (\partial_x A_y + \partial_y A_x) & 2\partial_y A_y & (\partial_y A_z + \partial_z A_y) \\ \frac{1}{c}i\cdot(\partial_t A_z - \partial_z\varphi) & (\partial_x A_z + \partial_z A_x) & (\partial_y A_z + \partial_z A_y) & 2\partial_z A_z \end{pmatrix} \quad (2)$$

и найдем его дивергенцию для ЭМП в вакууме без источников поля. Поскольку дивергенции симметричного тензора по каждому индексу равны, то полученный результат необходимо умножить на 2, но в разложении (1) перед симметричным тензором стоит коэффициент $\frac{1}{2}$. Следовательно, запишем дивергенцию по одному индексу и сгруппируем члены полученных уравнений следующим образом:

$$2\frac{1}{c^2}\partial_{tt}\varphi + \partial_t \nabla \cdot \mathbf{A} - \Delta\varphi = 0 \quad \text{или} \quad \left(\frac{1}{c^2}\partial_{tt}\varphi - \Delta\varphi\right) + \partial_t \left(\frac{1}{c^2}\partial_t\varphi + \nabla \cdot \mathbf{A}\right) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{1}{c^2} \partial_{tt} \mathbf{A} - \frac{1}{c^2} \partial_t \nabla \varphi - \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) - \Delta \mathbf{A} = 0 \quad \text{или}$$

$$\left(\frac{1}{c^2} \partial_{tt} \mathbf{A} - \Delta \mathbf{A} \right) - \nabla \left(\frac{1}{c^2} \partial_t \varphi + \nabla \cdot \mathbf{A} \right) = 0 \quad (4)$$

Запишем полный несимметричный тензор ЭМП матричной форме:

$$\mathbf{F}_{\alpha\beta} = \partial_\alpha \mathbf{A}_\beta = \begin{pmatrix} \frac{1}{c^2} \partial_t \varphi & \frac{1}{c} \partial_t A_x & \frac{1}{c} \partial_t A_y & \frac{1}{c} \partial_t A_z \\ -\frac{1}{c} \partial_x \varphi & \partial_x A_x & \partial_x A_y & \partial_x A_z \\ -\frac{1}{c} \partial_y \varphi & \partial_y A_x & \partial_y A_y & \partial_y A_z \\ -\frac{1}{c} \partial_z \varphi & \partial_z A_x & \partial_z A_y & \partial_z A_z \end{pmatrix} \quad (5)$$

Найдем его дивергенции по каждому из его индексов и запишем их сумму:

$$\left(\frac{1}{c^2} \partial_{tt} \varphi - \Delta \varphi \right) + \partial_t \left(\frac{1}{c^2} \partial_t \varphi + \nabla \cdot \mathbf{A} \right) = 0 \quad (6)$$

$$\left(\frac{1}{c^2} \partial_{tt} \mathbf{A} - \Delta \mathbf{A} \right) - \nabla \left(\frac{1}{c^2} \partial_t \varphi + \nabla \cdot \mathbf{A} \right) = 0 \quad (7)$$

В результате мы получили систему уравнений полностью идентичную системе уравнений (3), (4). Таким образом, сумма дивергенций полного тензора ЭМП (5) по двум индексам равна дивергенции симметричного тензора (2) по одному из индексов. Из этого также следует, что дивергенция антисимметричного тензора тождественно равна нулю, так как выполняется разложение (1). Введем в уравнения (6) и (7) источники поля с учетом размерности:

$$\left(\frac{1}{c^2} \partial_{tt} \varphi - \Delta \varphi \right) + \partial_t \left(\frac{1}{c^2} \partial_t \varphi + \nabla \cdot \mathbf{A} \right) = \rho / \varepsilon_0 \quad (8)$$

$$\left(\frac{1}{c^2} \partial_{tt} \mathbf{A} - \Delta \mathbf{A} \right) - \nabla \left(\frac{1}{c^2} \partial_t \varphi + \nabla \cdot \mathbf{A} \right) = \mu_0 \mathbf{J} \quad (9)$$

Сравним полученные уравнения движения ЭМП (8) и (9) с уравнениями Максвелла, учитывая, что представление напряженностей ЭМП $\mathbf{E}$ и $\mathbf{B}$ в потенциалах имеет вид $\mathbf{E} = -\nabla \varphi - \partial_t \mathbf{A}$, $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$. Запишем уравнения Максвелла в потенциалах для изотропной однородной среды без дисперсии принимая $\varepsilon = \mu = 1$:

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \frac{1}{c^2} \partial_t \mathbf{E} \quad \text{в потенциалах} \quad \nabla \times \nabla \times \mathbf{A} = \mu_0 \mathbf{J} - \frac{1}{c^2} \partial_t \nabla \varphi - \frac{1}{c^2} \partial_{tt} \mathbf{A} \quad (10)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho / \varepsilon_0 \quad \text{в потенциалах} \quad \nabla \cdot (-\nabla \varphi - \frac{1}{c^2} \partial_t \mathbf{A}) = \rho / \varepsilon_0 \quad (11)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\partial_t \mathbf{B} \quad \text{в потенциалах} \quad -\partial_t (\nabla \times \mathbf{A}) = -\partial_t (\nabla \times \mathbf{A}) \quad (12)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad \text{в потенциалах} \quad \nabla \cdot (\nabla \times \mathbf{A}) = 0 \quad (13)$$

Поскольку уравнения (12) и (13) при записи в потенциалах являются тождествами, то для сравнения остаются только уравнения (10) и (11). Уравнение (10) Максвелла соответствует уравнению дедуктивного формализма (9). Для сравнения приведем уравнение (9) к виду максимально приближенному к уравнению (10), раскрыв скобки и используя известное векторное тождество получим:

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{A} - 2\nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) = \mu_0 \mathbf{J} + \frac{1}{c^2} \partial_t \nabla \varphi - \frac{1}{c^2} \partial_{tt} \mathbf{A} \quad (14)$$

Уравнение (11) Дж. Максвелла соответствует скалярному уравнению дедуктивного формализма (8). Приведем уравнение (8) к виду, максимально приближенному к уравнению (11) и получим:

$$2\frac{1}{c^2}\partial_{tt}\varphi + \nabla(-\nabla\varphi + \partial_t\mathbf{A}) = \rho/\varepsilon_0 \quad (15)$$

Отметим особенности полученных уравнений движения ЭМП (8) и (9). Они очень симметричны. Каждое из них имеет волновую часть (первые скобки), показывая скорость распространения электромагнитного возмущения. В уравнении Дж. Максвелла (11) такая волновая часть отсутствует, и поэтому некоторые критики говорят, что уравнение Максвелла (11) указывает на бесконечную скорость распространения электрического поля. Каждое из уравнений кроме волновой части содержит выражение $\partial_t\varphi/c^2 + \nabla\cdot\mathbf{A}$ соответствующее калибровочному условию Лоренца. Это выражение является инвариантом полного тензора ЭМП (5), так как представляет его след. В случае применения калибровки Лоренца $\partial_t\varphi/c^2 + \nabla\cdot\mathbf{A} = 0$, уравнения движения ЭМП (8) и (9) преобразуются в канонические волновые уравнения теории Максвелла для электромагнитных потенциалов φ и $\mathbf{A}$. Таким образом, здесь калибровочное условие Лоренца приобретает физический смысл в виде продольной деформации ЭМП. Тогда физический смысл применения калибровки Лоренца заключается в исключении продольной четырехмерной деформации ЭМП. Уравнение (8) в статике, также как и уравнение Максвелла (11), переходит в уравнение Гаусса для скалярного потенциала φ . Рассмотрим уравнение Максвелла (10) в статике и исключив из него плотность тока. Для этого случая оно переходит в уравнение $\nabla\times\nabla\times\mathbf{A} = 0$. Это говорит о том, что в статическом случае, при отсутствии тока проводимости и тока смещения, ротор магнитного поля равен нулю. Для этого случая уравнение (9) переходит в уравнение $\nabla\times\nabla\times\mathbf{A} = 2\nabla(\nabla\cdot\mathbf{A})$ или $\nabla\times\nabla\times\mathbf{A} = -2\Delta\mathbf{A}$. Это уравнение говорит о том, что здесь ротор магнитного поля может существовать в статическом режиме и при отсутствии токов проводимости и токов смещения. Правую часть этого уравнения можно рассматривать как виртуальный ток. Такое магнитное явление наблюдается в астрофизике в виде космического магнитного динамо, когда токи смещения и токи проводимости фактически отсутствуют, а ротор магнитного поля существует. Это магнитное явление не имеет достаточного объяснения в теории Максвелла и существует несколько его гипотез. В дедуктивной электродинамике имеется прямое объяснение этому явлению. Другим отличием уравнения (9) от уравнения Максвелла (10) является знак производной по времени потенциального электрического поля $+\partial_t\nabla\varphi/c^2$, он противоположен знаку производной по времени вихревого электрического поля $-\partial_{tt}\mathbf{A}/c^2$. В уравнении Максвелла (10) знаки производных по времени этих электрических полей одинаковы.

Рассмотрим этот факт подробнее. Как считается, производная электрического поля или «ток смещения» был введен Максвеллом в уравнение Ампера для описания протекания переменного электрического тока в последовательной электрической цепи через конденсатор [2]. При этом, напряжение на конденсаторе сдвинуто по фазе на $-\pi/2$ относительно протекающего переменного тока. В последовательную цепь кроме конденсатора может быть включена индуктивность, напряжение на которой сдвинуто относительно протекающего тока на $+\pi/2$. Таким образом, для описания электрических процессов в последовательной цепи с конденсатором и индуктивностью уравнение Ампера должно содержать два члена с производными по времени потенциального электрического поля (для конденсатора) и вихревого электрического поля (для индуктивности), но с противоположными знаками. Такое уравнение будет описывать и явление последовательного резонанса, когда сумма производных потенциального и вихревого электрического поля равна нулю. Уравнение (9) описывает такие случаи, а уравнение Максвелла (10) нет. Таким

образом, уравнение (9) описывает больший круг вопросов электродинамики, чем уравнение Максвелла (10).

Одной из известных проблем электродинамики является невыполнение третьего закона Ньютона. Эту давнюю проблему решает уравнение (9) с помощью члена $2\nabla(\nabla \cdot \mathbf{A})$. При взаимодействии ЭМП с зарядами и токами этому члену соответствует электромагнитная сила, которая в литературе получила название силы Николаева [3-5]. Эта сила обнаружена в многочисленных экспериментах, но в электродинамике не получила своего признания из-за отсутствия ее убедительного теоретического обоснования. Здесь показано, что сила Николаева, также, как и сила Ампера, следует из полного тензора ЭМП (5). В таблице 1 приведены для сравнения описания ЭМП теории Максвелла и ее дедуктивного расширения. В таблице 1 введены обозначения $\mathbf{E}_p = -\nabla\varphi$, $\mathbf{E}_v = -\partial_t \mathbf{A}$.

Таблица 1. Сравнение описаний ЭМП и его основных уравнений.

	Теория Дж. Максвелла	Дедуктивная электродинамика
Тензор ЭМП	$F_{[\alpha\beta]} = \partial_\alpha A_\beta - \partial_\beta A_\alpha$	$F_{\alpha\beta} = \partial_\alpha A_\beta = F_{(\alpha\beta)} + F_{[\alpha\beta]} = (\partial_\alpha A_\beta + \partial_\beta A_\alpha)/2 + (\partial_\alpha A_\beta - \partial_\beta A_\alpha)/2$
Статика	$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J}$	$\nabla \times \mathbf{B} - 2\nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) = \mu_0 \mathbf{J}$
	$\nabla \cdot \mathbf{E}_p = -\Delta\varphi = \rho / \varepsilon_0$	$\nabla \cdot \mathbf{E}_p = -\Delta\varphi = \rho / \varepsilon_0$
Динамика	$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \frac{1}{c^2} \partial_t (\mathbf{E}_v + \mathbf{E}_p)$	$\nabla \times \mathbf{B} - 2\nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) = \mu_0 \mathbf{J} + \frac{1}{c^2} \partial_t (\mathbf{E}_v - \mathbf{E}_p)$
	$\nabla \cdot \mathbf{E} = \nabla \cdot (\mathbf{E}_p + \mathbf{E}_v) = \rho / \varepsilon_0$	$2\frac{1}{c^2} \partial_{tt} \varphi + \nabla \cdot (\mathbf{E}_p - \mathbf{E}_v) = \rho / \varepsilon_0$

4 Уравнения распространения ЭМП в дедуктивной электродинамике

С момента экспериментального открытия электромагнитных волн возникла проблема идентификации света, как электромагнитной волны. Совпадение скорости распространения света и электромагнитных волн привело к тому, что свет был идентифицирован как электромагнитные волны с очень малой длиной волны. Однако не все физические свойства света и электромагнитных волн совпадали. Главной особенностью и отличием света от электромагнитной волны Максвелла-Герца, является его лучевое распространение от источника и отсутствие затухания при распространении на огромные расстояния. Открытие квантовых свойств света обострило дискуссию о его природе. Поскольку в рамках электродинамики Дж. Максвелла этот вопрос остался не решенным, то установилось мнение о двойственной природе света, т.е. его корпускулярно-волновом дуализме. По этому вопросу А. Зоммерфельд пишет «Не видно способа, как можно преодолеть дуализм световая волна - световой квант». Если исходить из того, что начальная точка дедуктивного формализма, предложенная А. Пуанкаре является правильной, то дедуктивный формализм должен привести к двум описаниям возможного распространения ЭМП, одно из которых должно описывать электромагнитные волны Максвелла-Герца, а второе описывать распространение фотонов. Из уравнений Максвелла следуют только волновые уравнения для напряженностей ЭМП $\mathbf{E}$ и $\mathbf{B}$.

Рассмотрим волновые уравнения, вытекающие из уравнений (8) и (9). Возьмем градиент обеих частей уравнения (8) и производную по времени обеих частей уравнения (9):

$$\nabla\left(\frac{1}{c^2} \partial_{tt} \varphi - \Delta\varphi\right) + \nabla \partial_t \left(\frac{1}{c^2} \partial_t \varphi + \nabla \cdot \mathbf{A}\right) = \nabla \rho / \varepsilon_0 \quad (16)$$

$$\partial_t \left(\frac{1}{c^2} \partial_{tt} \mathbf{A} - \Delta \mathbf{A} \right) - \partial_t \nabla \left(\frac{1}{c^2} \partial_t \varphi + \nabla \cdot \mathbf{A} \right) = \mu_0 \partial_t \mathbf{J} \quad (17)$$

Эти уравнения имеют одинаковую размерность своих членов. Далее, найдя их сумму и разность, получим два векторных уравнения распространения ЭМП в виде:

$$\left(\frac{1}{c^2} \partial_{tt} - \Delta \right) (\nabla \varphi + \partial_t \mathbf{A}) = \nabla \rho / \varepsilon_0 + \mu_0 \partial_t \mathbf{J} \quad (18)$$

$$\left(\frac{1}{c^2} \partial_{tt} - \Delta \right) (\nabla \varphi - \partial_t \mathbf{A}) + 2 \partial_t \nabla (\partial_t \varphi / c^2 + \nabla \cdot \mathbf{A}) = \nabla \rho / \varepsilon_0 - \mu_0 \partial_t \mathbf{J} \quad (19)$$

Перепишем уравнение (18) в виде:

$$\left(\Delta - \frac{1}{c^2} \partial_{tt} \right) (-\partial_t \mathbf{A} - \nabla \varphi) = \Delta \mathbf{E} - \frac{1}{c^2} \partial_{tt} \mathbf{E} = \nabla \rho / \varepsilon_0 + \mu_0 \partial_t \mathbf{J} \quad (20)$$

Уравнение (20) является каноническим волновым уравнением для электрического поля, описывающим электромагнитные волны Максвелла-Герца. Теория и решения этого уравнения описаны во всех учебниках по электродинамике. Для получения волнового уравнения для магнитного поля достаточно найти ротор от обеих частей уравнения (20).

Второе уравнение (19), также следующее из полного тензора ЭМП (5) является гораздо более сложным, и в классической электродинамике неизвестно. Однако, поскольку оно выводится из уравнений (8) и (9) одним методом, что и каноническое волновое уравнение (20), то уравнение (19) для электродинамики должно иметь равноценное с ним значение. Таким образом, из уравнений (8) и (9), как и предполагалось, вытекают два уравнения распространения ЭМП. Это позволяет предположить, что уравнение (19) может описывать фотон. Тогда уравнения (18) и (19) описывают два основных вида излучения и распространения возмущений ЭМП в пространстве в виде классических волн и в виде фотонов. Левая часть уравнения (19) содержит волновой член из разности электрического потенциального и вихревого поля. Этот член может описывать волновой резонанс. Второй член также имеет динамический характер и описывает скорость изменения градиента скалярной продольной части или следа тензора ЭМП (5), являющегося его инвариантом. Уравнение (19) без источников поля можно записать в виде:

$$\left(\frac{1}{c^2} \partial_{tt} - \Delta \right) (\nabla \varphi - \partial_t \mathbf{A}) = -2 \partial_t \nabla (\partial_t \varphi / c^2 + \nabla \cdot \mathbf{A}) \quad (21)$$

Его правую часть можно считать виртуальным источником для левой волновой части. Одним из отличительных свойств света является его лучевое, т.е. продольное распространение. Правая часть уравнения (21) в скобках содержит инвариантный след тензора ЭМП (5), описывающий продольную часть ЭМП. Эта часть уравнения (21) может быть ответственной за продольное лучевое распространение света. Такая продольная часть отсутствует в волновом уравнении (20), которое описывает поперечные волны. Тогда можно предположить, что уравнение (21) описывает поперечно-продольные волны ЭМП. Если принять условие резонанса $\nabla \varphi = \partial_t \mathbf{A}$ для левой части, то правую часть можно приравнять к нулю и рассматривать ее отдельно, помня о соблюдении условия резонанса для волновой левой части:

$$0 = -2 \partial_t \nabla (\partial_t \varphi / c^2 + \nabla \cdot \mathbf{A}) \quad (22)$$

Учитывая условие резонанса, уравнение (22) можно привести к виду:

$$0 = \partial_t (\partial_{tt} \mathbf{A} / c^2 + \nabla (\nabla \cdot \mathbf{A})) \quad \text{или} \quad 0 = \partial_t (\partial_{tt} \mathbf{A} / c^2 + \nabla \times \nabla \times \mathbf{A} + \Delta \mathbf{A}) \quad \text{или} \quad 0 = \partial_t (-\partial_t \mathbf{E}_\parallel / c^2 + \nabla \times \mathbf{B} + \Delta \mathbf{A}) \quad (23)$$

Из уравнения (23) можно сделать вывод о том, что выражение в скобках является постоянным во времени и инвариантным в пространстве. Таким образом, уравнение (21) описывает сложную резонансную волновую структуру ЭМП, предположительно являющуюся фотоном. Решения уравнения (21) еще предстоит найти.

Возьмем производную по времени обеих частей уравнения (8) и дивергенцию от обеих частей уравнения (9):

$$\varepsilon_0(2\frac{1}{c^2}\partial_t\partial_{tt}\varphi + \partial_t\partial_{tt}\nabla\cdot\mathbf{A} - \Delta\partial_t\varphi) = \partial_t\rho \quad (24)$$

$$(\frac{1}{c^2}\partial_{tt}\nabla\cdot\mathbf{A} - \frac{1}{c^2}\partial_t\Delta\varphi - 2\Delta\nabla\cdot\mathbf{A})/\mu_0 = \nabla\cdot\mathbf{J} \quad (25)$$

Члены этих уравнений имеют одинаковую размерность. Сложим эти уравнения и получим скалярное волновое уравнение:

$$2(\frac{1}{c^2}\partial_{tt} - \Delta)(\frac{1}{c^2}\partial_t\varphi + \nabla\cdot\mathbf{A})/\mu_0 = \partial_t\rho + \nabla\cdot\mathbf{J} \quad (26)$$

Это уравнение описывает скалярные продольные волны следа тензора ЭМП (5), т.е. волны растяжения/сжатия ЭМП. Правая часть этого уравнения представляет собой уравнение неразрывности плотности тока. В электродинамике Дж. Максвелла уравнение неразрывности не имеет волновой полевой части. Однако уравнению неразрывности подчиняются любые электродинамические процессы с участием зарядов и токов, сопровождаемые ЭМП, и потому оно должно содержать полевую часть, включающую ЭМП.

5 Заключение

Применение и развитие дедуктивного формализма электродинамики на основе четырехмерной псевдоевклидовой геометрии, предложенного А. Пуанкаре и Г. Минковским, позволило расширить описание ЭМП. В это описание в виде антисимметричной части вошло описание ЭМП, предложенное Г. Минковским. В полученные на основе полного описания ЭМП уравнения движения вошли уравнения Дж. Максвелла с дополнениями, обеспечившими расширение их возможностей в части описания электромагнитных процессов (магнитного динамо, описание резонанса в последовательной цепи, выполнение третьего закона Ньютона в электродинамике), а также позволившим решить некоторые проблемы теории Дж. Максвелла (бесконечная скорость распространения электрического поля в уравнении Гаусса) и уточнены уравнения движения электромагнитного поля. Кроме канонического волнового уравнения Даламбера для электрического и магнитного поля получено новое волновое уравнение распространения ЭМП, которое предположительно интерпретируется как уравнение фотона. Также получено волновое уравнение для скалярных продольных волн растяжения/сжатия ЭМП. Таким образом, дедуктивный формализм электродинамики приводит к трем формам распространения ЭМП: поперечным (радиоволнам), поперечно-продольным оптическим волнам (фотонам) и продольным волнам. Во второй части дедуктивного формализма электродинамики будут рассмотрены электромагнитные силы и другие вопросы дедуктивной электродинамики.

Список литературы

1. *Логунов А.А.* Анри Пуанкаре и теория относительности / А.А. Логунов. - М.: Наука, 2004. 256 с.
2. *Тамм И.Е.* Основы теории электричества. М.: Наука, 1989
3. *Николаев Г.В.* Электродинамика обобщенного вакуума. Томск, НТЛ, 2004
4. *Николаев Г.В.* Непротиворечивая электродинамика. Теории, эксперименты, парадоксы. Томск, 1997
5. *Томилин А.К.* Обобщенная электродинамика. М.: «Триумф», 2020.

ADVANCED 5D EDUCATIONAL SIMULATION SYSTEMS FOR HIGHER-ORDER LEARNING: INTERNATIONAL RESEARCH PERSPECTIVES FROM LEADING SCIENTIFIC SCHOOLS

Khoshimov F.A.¹, Temirova R.Sh.², Keunimjaeva A.K.³

¹Khoshimov Foziljan Abidovich – DSc, Professor,

²Temirova Raykhona Shakhobiddin qizi – Independent Researcher,
TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY,
TASHKENT, REPUBLIC OF UZBEKISTAN,

³Keyunimzhayeva Akmaral Kambarovna – Trainee teacher,
KARAKALPAK STATE UNIVERSITY,
NUKUS, REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Abstract: This study investigates advanced 5D educational simulation systems for higher-order learning based on international scientific practices in the USA, Japan, Germany, and South Korea. Comparative analysis demonstrates that AI-driven immersive simulation platforms significantly improve adaptive reasoning, analytical thinking, knowledge retention, and interactive STEM-oriented learning efficiency.

Keywords: 5D educational simulation; higher-order learning; virtual reality; AI-based education; adaptive learning; immersive technologies; STEM education; intelligent tutoring systems; digital pedagogy; simulation-based learning.

UDC 621.311.12

The rapid expansion of artificial intelligence, immersive simulation technologies, and adaptive digital learning platforms has significantly transformed modern education systems. In 2025, the global Educational Technology (EdTech) market exceeded USD 200 billion, while AI-based educational systems demonstrated annual growth rates above 30% worldwide (Fig. 1). Simultaneously, leading scientific schools in the USA, Japan, Germany, and South Korea have intensified research on 5D educational simulation environments integrating virtual interaction, real-time analytics, intelligent feedback, and higher-order thinking development. These systems are increasingly applied in STEM education, engineering training, medical simulation, and AI-supported adaptive learning to improve analytical, creative, and problem-solving competencies in next-generation educational ecosystems [1].

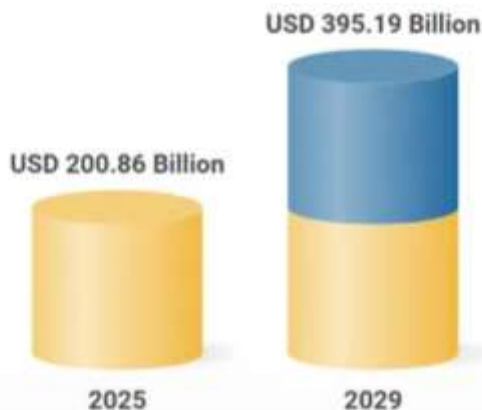


Fig. 1. Global Education Technology (EdTech) Market Growth Forecast for 2025–2029.

The study applies a comparative bibliometric and content-analysis approach to evaluate 5D educational simulation systems developed in the USA, Japan, Germany, and South Korea. Higher-order learning efficiency was estimated using:

$$HOTI = \sum_{i=1}^n w_i C_i, \sum w_i = 1$$

Learning gain was calculated as:

$$LG = \frac{S_{post} - S_{pre}}{100 - S_{pre}} \times 100\%$$

Simulation effectiveness was modeled by:

$$SEI = \alpha I + \beta A + \gamma F + \delta R - \lambda CL$$

where I is immersion, A adaptability, F feedback quality, R retention, and CL cognitive load [2, 3].

The experimental analysis demonstrated that 5D educational simulation systems significantly improve higher-order learning performance, adaptive reasoning, and long-term knowledge retention. The comparative assessment revealed that the USA achieved the highest HOT Index value (91%), primarily due to extensive integration of AI-driven adaptive learning and immersive virtual simulation technologies. South Korea showed strong adaptive performance (90%) through intelligent real-time feedback architectures, while Germany demonstrated stable retention efficiency (85%) supported by engineering-oriented simulation frameworks. Japan exhibited comparatively lower adaptability indicators because of limited integration of dynamic AI-based personalization modules in conventional simulation environments. The obtained results confirm that intelligent 5D simulation ecosystems substantially enhance analytical thinking, cognitive flexibility, and interactive problem-solving efficiency in STEM-oriented educational environments (Fig. 2).

The obtained results indicate that advanced 5D educational simulation systems substantially improve higher-order cognitive performance, adaptive reasoning, and long-term knowledge retention. Scientific schools in the USA and South Korea demonstrated superior efficiency due to deeper integration of artificial intelligence, immersive virtual environments, and adaptive feedback algorithms. Germany emphasized engineering-oriented simulation precision and stable retention performance, whereas Japan showed comparatively conservative adoption of dynamic personalization technologies. The comparative analysis confirms that intelligent 5D simulation ecosystems enhance analytical thinking, collaborative interaction, and real-time decision-making capabilities, making them highly effective for future STEM-oriented digital education frameworks and Industry 5.0 learning environments [4, 5].

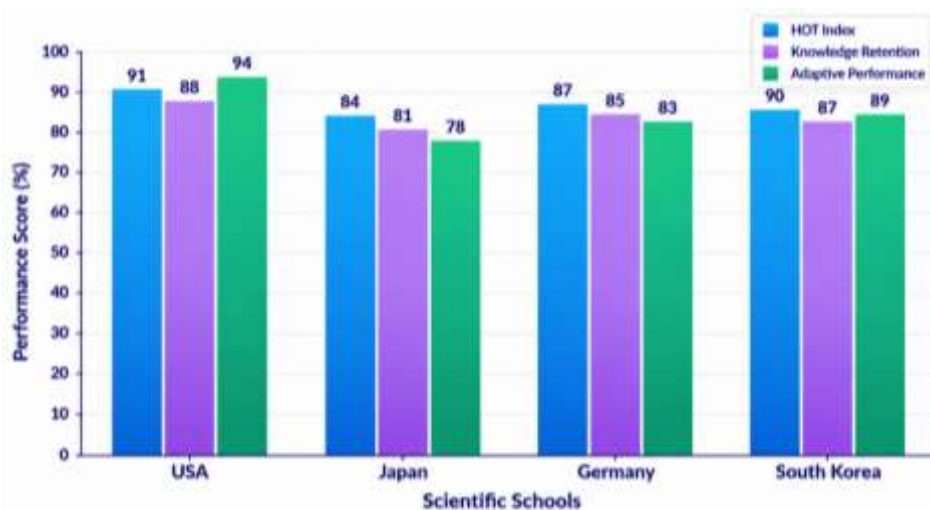


Fig. 2. Comparative Analysis of Higher-Order Learning Performance in 5D Educational Simulation Systems Across Leading Scientific Schools.

This study demonstrated that advanced 5D educational simulation systems significantly enhance higher-order learning, adaptive reasoning, and interactive problem-solving capabilities in modern digital education environments. Comparative analysis showed that AI-driven immersive platforms developed by scientific schools in the USA, South Korea, Germany, and Japan improve knowledge retention, analytical thinking, and real-time decision-making efficiency. The integration of intelligent feedback, adaptive simulation architectures, and virtual interaction technologies creates highly effective STEM-oriented learning ecosystems. The obtained results confirm that 5D educational simulators represent a promising technological foundation for future Industry 5.0 education, personalized learning environments, and intelligent digital pedagogy development.

References

1. Research and Markets. (2025). Education technology (EdTech) market — Global forecast report 2025–2029. Yahoo Finance. <https://finance.yahoo.com/news/edtech-global-market-forecast-report-092100658.html>
2. Курбонов Н.Н., Усманиев С.У., Шаюмова З.М., Бижанов А.К. Разработка алгоритма и программного продукта прогнозирования электропотребления // «Вестник науки и образования» научно-методический журнал. 2024. № 5 (148) Часть 2. С. 9-13.
3. Рахмонов И.У., Холихматов Б.Б., Гуломов Ф.Ф., Нажматдинов Р.К. Снижения расхода энергии и улучшение производственных показателей промышленных предприятий с непрерывным характером производства // «Вестник науки и образования» научно-методический журнал. 2024. № 5 (148) Часть 2. С. 13-19.
4. Рахмонов И.У., Коржобова М.Ф., Абдухалилов М.К., Отенбергенев Ш.Т. Анализ существующих подходов при выборе методов оценки эффективности управления энергопотреблением промышленных предприятий // «Проблемы современной науки и образования» научно-методический журнал. 2024. № 5 (192). С. 5-9.
5. Рахмонов И.У., Абдухалилов М.К., Курбонов Н.Н., Узиков Б.А. Исследование экономических показателей для оценки энергоэффективности промышленных предприятий с непрерывным характером производства // «Проблемы современной науки и образования» научно-методический журнал. 2024. № 5 (192). С. 10-14.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ АЭРАЦИИ ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ В СТАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Свиридов В.В.

Свиридов Всеволод Владимирович – аспирант,
кафедра «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»,
Тамбовский государственный технический университет,
г. Тамбов

Аннотация: в статье представлен обзор гидродинамических методов интенсификации массообмена в гетерогенных газожидкостных системах при водоподготовке. Проанализирована кинетика растворения кислорода и математические закономерности дробления газовой фазы под действием сдвиговых напряжений, градиентов давления и турбулентных пульсаций. Систематизированы современные конструктивные направления модернизации статических диспергаторов, основанные на применении аддитивных технологий, топологической оптимизации геометрии рабочих каналов и принципов модульного масштабирования с постановкой задачи снижения гидравлического сопротивления аппаратов.

Ключевые слова: аэрация, водоподготовка, массоперенос, диспергирование газовой фазы, система «газ-жидкость», диссипация энергии, число Вебера, сдвиговые напряжения, кавитация, статические диспергаторы, интенсификация массообмена.

Аэрация — базовая стадия водоподготовки, обеспечивающая жидкофазное окисление примесей (железа (II), марганца (II), сероводорода) кислородом воздуха. Скорость процесса лимитируется стадией межфазного массопереноса.

Эксплуатация традиционных барботажных аппаратов характеризуется коэффициентом полезного использования кислорода воздуха на уровне 8–12 %, что в 3,0–4,5 раза ниже аналогичного показателя проточных систем со статическими насадками, достигающего 35–45 % [12]. Удельные затраты энергии на сжатие и нагнетание газовой фазы компрессорным оборудованием составляют 0,6–1,5 кВт·ч на кубический метр подаваемого воздуха, в то время как пассивные гидродинамические методы диспергирования требуют всего 0,15–0,45 кВт·ч на кубический метр обрабатываемой среды [12]. Основная доля подводимой к компрессорам энергии рассеивается в виде тепла и расходуется на преодоление гидростатического давления столба жидкости, не обеспечивая диспергирования газа до микронного диапазона, необходимого для ускорения жидкофазного окисления [8]. Подробное сопоставление энергетических балансов и кинетики массообмена для различных типов аэрационных систем представлено в сравнительном обзоре [12].

Актуальной инженерной задачей является интенсификация массообмена за счет развития удельной площади поверхности контакта фаз. Данная обзорная статья рассматривает методы интенсификации газожидкостного массообмена и обосновывает переход к гидродинамическим методам, реализуемым за счет оптимизации геометрии внутренних элементов статических устройств.

Для корректного инженерного анализа методов интенсификации необходимо рассмотреть основное уравнение массопередачи [7, с. 422], описывающее локальную скорость растворения газа в жидкой фазе во времени [6]:

$$\frac{dC}{dt} = k * a * (C^* - C) \quad (1)$$

где $k * a$ — объемный коэффициент массопереноса (c^{-1}); k — локальный коэффициент массоотдачи в жидкой фазе ($м/с$); a — удельная площадь поверхности

контакта фаз (м^{-1}); C и C^* — текущая и равновесная концентрации растворенного кислорода в воде соответственно ($\text{кг}/\text{м}^3$).

Поскольку физические свойства системы (диффузия кислорода D , равновесная концентрация C^* при фиксированной температуре постоянны, ключевым рычагом воздействия на скорость процесса $\frac{dC}{dt}$ становится изменение объемного коэффициента массопереноса $k * a$. При этом удельная площадь контакта фаз a математически определяется через объемное газосодержание φ и средний диаметр генерируемых пузырей d_b [7, с. 618]:

$$a = \frac{6\varphi}{d_b} \quad (2)$$

Следовательно, основным физическим путем увеличения удельной межфазной поверхности a является уменьшение среднего диаметра генерируемых пузырей d_b до микронного диапазона (10–100 мкм). Согласно уравнению (2), при фиксированном объемном газосодержании φ снижение эквивалентного диаметра пузырьков от стандартных макровеличин $d_b = 3 - 5$ мм до микроуровня $d_b = 0,05 - 0,1$ мм приводит к пропорциональному росту межфазной поверхности a в 30–100 раз при неизменном объемном расходе подаваемого газа. Данное геометрическое соотношение позволяет кратно интенсифицировать скорость растворения кислорода без увеличения расхода нагнетаемого воздуха [6].

Согласно статистической теории изотропной турбулентности Колмогорова–Обухова, предельный размер пузыря в турбулизированном потоке жестко лимитирован балансом сдвиговых сил и удерживающего капиллярного давления [8, с. 142]. Минимальный устойчивый диаметр газового включения находится в обратной зависимости от удельной скорости диссипации энергии ε ($\text{Вт}/\text{кг}$) [9]:

$$d_b \propto \left(\frac{\sigma}{\rho L} \right)^{0.6} * \varepsilon^{-0.4} \quad (3)$$

где σ — поверхностное натяжение жидкости ($\text{Н}/\text{м}$); ρL — плотность жидкой среды ($\text{кг}/\text{м}^3$). Из данного соотношения следует вывод: для измельчения газовой фазы и развития поверхности контакта необходимо создавать зоны с экстремально высокой локальной диссипацией механической энергии.

В современной инженерной практике для интенсификации абсорбции кислорода используются три основные группы методов: физико-химические, механические (активные) и гидродинамические (пассивные).

Физико-химический метод основан на снижении поверхностного натяжения чистой воды ($\sigma \approx 72,8 * 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ при 20°C) путем дозирования поверхностно-активных веществ (ПАВ). Падение σ уменьшает капиллярное давление ($P_\sigma = 2\sigma/R$) и снижает критическое число Вебера (We_{crit}) [4]:

$$We = \frac{\rho_L * v'^2 * d_b}{\sigma} \quad (4)$$

где ρ_L — плотность жидкой фазы, $\text{кг}/\text{м}^3$; v' — пульсационная скорость потока, $\text{м}/\text{с}$; d_b — диаметр пузыря, м . Физический смысл критерия заключается в определении степени деформации газового включения под действием сил инерции набегающего потока.

Использование физико-химических методов сопровождается необходимостью дозирования дополнительных реагентов, что противоречит современной тенденции

совершенствования процессов водоподготовки, направленной на снижение реагентной нагрузки и сокращение количества технологических стадий [18].

Активные механические методы, такие как мешалки, роторно-дисcretные и пульсационные аппараты, интенсифицируют процессы за счет подвода внешней энергии через подвижные рабочие органы. Вращение элементов создает высокие сдвиговые напряжения, которые эффективно разрушают газовые каверны, повышая объемный коэффициент массопереноса $k \cdot a$ до 0,05–0,12 с⁻¹. Этот подход ограничен рисками разгерметизации, а удельные энергозатраты на уровне 1,5–3,2 кВт·ч/м³ делают метод экономически нерентабельным для непрерывной очистки больших объемов [1].

Основные параметры и ограничения традиционных систем аэрации приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительные параметры систем диспергирования газовой фазы [9].

Тип системы	Средний диаметр пузырей d_b , мм	Удельная поверхность контакта a , м ⁻¹	Недостатки и ограничения
Классический барботаж	3,0-5,0	100-200	Низкий КПД использования кислорода, застойные зоны
Механическое перемешивание	1,0-2,0	400-600	Высокий износ валов, наличие сальниковых уплотнений, энергоёмкость привода
Статические устройства	0,1-0,5	1500-3000	Требуют точного расчета гидравлического сопротивления

Как видно из таблицы, механические методы обеспечивают хорошую дисперсность, но наличие динамических узлов трения, необходимость герметизации валов и высокая чувствительность к абразивным взвесям в воде снижают их эксплуатационную надежность в непрерывных промышленных циклах.

Гидродинамический метод базируется на прямой трансформации кинетической энергии движущегося потока в турбулентные пульсации и сдвиговые напряжения непосредственно в зоне контакта фаз. Данный подход реализуется без подвижных деталей при помощи статических смесительных элементов, размещаемых внутри проточных реакторов.

Энергия на диспергирование поставляется внешним насосом, при этом удельные энергозатраты составляют всего 0,15–0,45 кВт·ч/м³, что в 5–8 раз ниже, чем в активных механических системах. Создание локального перепада давления в диапазоне $\Delta P = 0.02 - 0.08$ Мпа на статической насадке обеспечивает стабильный рост объемного коэффициента массопереноса $k \cdot a$ до 0,18–0,35 с⁻¹, существенно повышая эксплуатационную надежность комплекса [3].

Механизм разрушения газовой фазы внутри статических диспергаторов носит комплексный характер и определяется пространственной структурой формируемого течения. Выделяют четыре основных вектора гидромеханического воздействия, под действием которых внешние силы преодолевают поверхностное натяжение пузыря [10]:

1. Касательные сдвиговые напряжения τ . Возникают в пограничных слоях у твердых стенок внутренних элементов или на границе разнонаправленных струй. Согласно закону Ньютона для вязкого трения, $\tau = \mu(dv/dy)$. Разность скоростей обтекания заставляет пузырь вытягиваться вдоль вектора сдвига. При достижении критического удлинения газовое включение трансформируется в тонкую нить,

которая распадается на монодисперсный спектр микропузырьков под действием капиллярной неустойчивости Рэлея–Тейлора.

2. Продольные нормальные напряжения растяжения. Формируются в конфузорных участках (сужениях каналов). При резком росте осевой скорости жидкости пузырь подвергается одноосному растяжению. Скорость деформации в сужениях превышает скорость релаксации формы пузыря, что приводит к его мгновенному поперечному делению.

3. Локальные градиенты статического давления. При обтекании сложнопрофильных перегородок скорость течения резко возрастает, что, согласно уравнению Бернулли, вызывает локальное падение статического давления. В этой зоне пузырь скачкообразно расширяется. При выходе из стесненного сечения в зону диффузора давление восстанавливается, провоцируя резкое сжатие газовой полости. Несимметричное схлопывание каверны сопровождается образованием кумулятивной микроструи жидкости, прошивающей пузырь и делящей его на множество мелких фрагментов.

4. Турбулентная бомбардировка. В зонах отрыва потока за элементами насадки образуется развитый спектр вихрей. Наибольший вклад в дробление вносят вихри, масштаб которых соизмерим с диаметром пузыря ($L_v \gg d_b$). Они передают свою кинетическую энергию стенкам пузыря в виде интенсивных пульсаций, вызывая резонансный распад границы раздела фаз.

Анализ подтверждает, что интенсификация массообмена за счет роста межфазной поверхности снижает расход воздуха при сохранении скорости жидкофазного окисления примесей. Пассивные гидродинамические методы в статических устройствах исключают дозирование реагентов, динамические узлы трения и уплотнения, что позволяет снизить эксплуатационные затраты и повысить надежность системы.

Развитие конструкций внутренних элементов связано с аддитивными технологиями и топологической оптимизацией геометрии каналов. Сложнопрофильные модульные структуры локализуют зоны высоких сдвиговых напряжений и диссипации энергии при стабильном гидравлическом сопротивлении системы. Данный конструктивный подход снижает материалоемкость аппаратов и сокращает удельное энергопотребление промышленных систем водоочистки.

Список литературы

1. *Абиев Р.Ш.* Энерго- и ресурсосберегающее оборудование химических технологий: теоретические основы и практическое применение в химической, нефтехимической промышленности и биотехнологиях: монография / Р. Ш. Абиев. – Саарбрюккен: Lambert Academic Publishing, 2012. – 403 с.
2. *Баранов Д.А.* Кинетика массоотдачи в жидкой фазе при турбулентном перемешивании газожидкостных сред / Д.А. Баранов, И.В. Вязьмин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2024. – № 3. – С. 14–19.
3. *Баранов Д.А.* Энергетические характеристики и эффективность массоотдачи в гидродинамических проточных диспергаторах статического типа / Д.А. Баранов, А.В. Вязьмин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2023. – № 11. – С. 18–23.
4. *Виноградов, М. С.* Влияние поверхностно-активных веществ на гидродинамику и кинетику массообмена в газожидкостных системах водоочистки / М.С. Виноградов, А.Е. Кузнецов // Экологическая химия. – 2023. – Т. 32, № 4. – С. 211–219.
5. *Горидько К.А.* Влияние изменяющихся свойств газожидкостной смеси по длине насоса на характеристики погружной электроцентробежной насосной установки: дис. ... канд. техн. наук: 2.4.7 / К.А. Горидько. – Москва: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2024. – 186 с.

6. *Дмитриев А.В.* Гидродинамика и массообмен при генерации микропузырьков в проточных газожидкостных аппаратах / А.В. Дмитриев, Р.Р. Хакимов // Теоретические основы химической технологии. – 2023. – Т. 57, № 4. – С. 412–418.
7. *Касаткин А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов / А.Г. Касаткин. – 10-е изд., стер., дораб., перепеч. с изд. 1973 г. – Москва: Альянс, 2004. – 753 с.
8. *Келбалиев Г.И.* Гидродинамика и массоперенос в дисперсных средах: монография / Г.И. Келбалиев, С.Р. Расулов. – Москва: Химиздат, 2014. – 568 с.
9. Проектирование сооружений для очистки сточных вод: справочное пособие к СНиП 2.04.03-85 / ВНИИ ВОДГЕО. – Москва: Стройиздат, 1990. – 192 с.
10. *Соколов В.М.* Интенсификация аэрации в биореакторах: взаимосвязь локальной диссипации энергии и коэффициента массопереноса / В.М. Соколов, Е.С. Козлова // Химическая промышленность сегодня. – 2023. – № 5. – С. 32–38.
11. *Хакимов Р.Р.* Исследование влияния удельной диссипации энергии на средний размер пузырей при барботажной аэрации / Р.Р. Хакимов, А.В. Дмитриев // Вестник Казанского технологического университета. – 2022. – Т. 25, № 8. – С. 45–51.
12. *Хакимов Р.Р.* Сравнительный анализ эффективности систем диспергирования газовой фазы в барботажных аппаратах / Р.Р. Хакимов, А.В. Дмитриев // Вестник технологического университета. – 2022. – Т. 25, № 11. – С. 84–90.
13. *Шарифуллин В.Н.* Моделирование процессов массопереноса и распределения размеров пузырьков газа в барботажных аппаратах / В.Н. Шарифуллин, А.В. Малыгин // Теоретические основы химической технологии. – 2023. – Т. 57, № 2. – С. 182–190.
14. *Akita K.* Gas Holdup and Volumetric Mass Transfer Coefficient in Bubble Columns. Effects of Liquid Properties / K. Akita, F. Yoshida // Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development. — 1973. — Vol. 12, No. 1. — P. 76–80.
15. *Deckwer W.-D.* Mixing and Mass Transfer in Tall Bubble Columns / W.-D. Deckwer, R. Burckhart, G. Zoll // Chemical Engineering Science. — 1974. — Vol. 29, No. 11. — P. 2177–2188.
16. *Kulkarni A.A.* Bubble Formation and Bubble Rise Velocity in Gas–Liquid Systems: A Review / A. A. Kulkarni, J. B. Joshi // Industrial & Engineering Chemistry Research. — 2005. — Vol. 44, No. 16. — P. 5873–5931.
17. *Kantarci N.* Bubble Column Reactors / N. Kantarci, F. Borak, K. O. Ulgen // Process Biochemistry. — 2005. — Vol. 40, No. 7. — P. 2263–2283.
18. *Gitis V.* Water treatment chemicals: Trends and challenges / Gitis V., Hankins N // Journal of Water Process Engineering. — 2018. — Vol. 25. — P. 34–38.

ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЭКСПРЕССИВНОСТИ В СТРУКТУРЕ ПОСТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПАБЛИКА (НА МАТЕРИАЛЕ СООБЩЕСТВА «НАВИГАТОРЫ ДЕТСТВА. ПРИМОРСКИЙ КРАЙ»)

Сивак П.Д.

Сивак Полина Денисовна – бакалавр,
кафедра Высшая школа кино и телевидения,
Владивостокский государственный университет,
г. Владивосток

Аннотация: в статье рассматриваются лингвистические и структурно-композиционные средства создания экспрессивности в официальных образовательных пабликах социальной сети «ВКонтакте». В условиях информационного перенасыщения и клипового мышления современной аудитории государственные проекты вынуждены адаптировать язык своих коммуникаций к запросам молодежной и педагогической аудитории, сохраняя при этом официальный статус и транслируя заданные ценностные установки. Эмпирическим материалом исследования выступили публикации паблика «Навигаторы Детства. Приморский край» за период с сентября 2023 года по июль 2024 года, общим объемом 120 постов. В работе рассматриваются креолизованные тексты, где вербальный и визуальный компоненты образуют единое смысловое целое. Выявлены основные лексические приемы создания экспрессивности, включая использование эмоционально-оценочной лексики, уменьшительно-ласкательных суффиксов и разговорных элементов. Проанализированы синтаксические конструкции, характерные для постов образовательной тематики: короткие номинативные предложения, парцелляция, восклицательные конструкции. Особое внимание уделено функционированию заголовочного комплекса и его взаимодействию с иллюстративным рядом, а также прагматическим маркерам, включая императивные формы и эмодзи. Результаты исследования могут быть использованы при разработке контент-стратегий для официальных образовательных сообществ, а также в курсах медиалингвистики и стилистики интернет-коммуникации.

Ключевые слова: социальные сети, ВКонтакте, образовательный паблик, креолизованный текст, экспрессивность, заголовочный комплекс, лингвистические средства, медиалингвистика.

Введение

Современная интернет-коммуникация характеризуется активным взаимодействием вербальных и невербальных средств. Как справедливо отмечает В.Э. Шевченко, «визуальный контент является ключом к пониманию информации для современного общества» [6]. Посты в социальных сетях, функционирующие как креолизованные тексты, представляют собой единство изобразительного ряда и вербального компонента, которые совместно формируют смысл и воздействуют на адресата. Особый интерес с филологической точки зрения вызывают официальные образовательные паблики, поскольку они одновременно решают две противоречивые задачи: сохранение статусно-официального тона и адаптация к клиповому мышлению аудитории, требующей яркости и эмоциональности. Как подчеркивает С.И. Симакова, «клиповое мышление формирует новый тип восприятия информации, основанный на фрагментарности и визуальной доминанте» [3].

Актуальность данного исследования обусловлена недостаточной изученностью лингвистических механизмов создания экспрессивности в государственных

образовательных пабликах. В отличие от развлекательных или новостных сообществ, официальные проекты транслируют идеологически нагруженный контент и потому нуждаются в особых языковых стратегиях, обеспечивающих баланс между официальностью и доступностью. Объектом исследования выступает паблик «Навигаторы Детства. Приморский край» в социальной сети «ВКонтакте». Предметом — лингвистические и структурно-композиционные средства создания экспрессивности в заголовочном комплексе и основной части постов. Эмпирическая база включает 120 публикаций, созданных в период с сентября 2023 года по июль 2024 года. Теоретической основой исследования послужили работы М.Н. Кима о структуре журналистского текста [1], К.В. Прохоровой о заголовочном комплексе [2], а также исследования креолизованных текстов, где вербальный и визуальный компоненты рассматриваются как взаимодополняющие элементы.

Лексические средства создания экспрессивности

Проведенный лингвистический анализ позволил выделить несколько доминирующих языковых стратегий создания экспрессивности, применяемых в анализируемых публикациях. Первая группа приемов относится к лексическому уровню. В текстах постов активно используется эмоционально-оценочная лексика: *«самый массовый квиз», «огромное количество участников», «невероятно мудрые и глубокие мысли»*. Широко применяются уменьшительно-ласкательные суффиксы, адресованные детской аудитории: *«ребята», «детки», «пушистые друзья»*.

В качестве иллюстрации приведем фрагмент поста, приуроченного ко Дню защиты детей: *«Ежегодно 1 июня отмечается Международный день защиты детей, один из старейших интернациональных праздников в мире. Он символизирует радость и семью, напоминая нам о важности сохранения детства каждого ребенка и создания для него счастливой жизни»*. Данный отрывок демонстрирует сочетание официальной лексики (*«интернациональный праздник», «символизирует»*) и эмоционально окрашенных конструкций (*«радость и семья», «счастливая жизнь»*), что создает эффект доверительной официальности.

В посты вводятся разговорные и просторечные элементы, снижающие официальный пафос и приближающие язык паблика к естественной речи педагогов: *«пора исправить это упущение», «заряжать позитивом», «оторвать от гаджетов»*. Например, в посте о подкасте сообщества читаем: *«И если вам интересно как оторвать ребенка от гаджетов и что на самом деле происходит в учительской, скорее включайте наш подкаст и там вы точно найдете ответ!»* Использование разговорной конструкции *«что на самом деле происходит»* и императива *«включайте»* создает иллюзию живого диалога, что особенно важно для вовлечения педагогической аудитории. Данные приемы позволяют сохранить статус официального проекта, но не отталкивают аудиторию канцеляризмами.

Синтаксические приемы экспрессивности

Вторая группа приемов реализуется на синтаксическом уровне. Тексты постов характеризуются чередованием коротких, синтаксически неосложненных предложений в лид-абзацах и распространенных конструкций в основной информационной части. Особый интерес представляют номинативные предложения, выполняющие функцию смысловых акцентов: *«Первое — организация рабочего места. Второе — техника Pomodoro»*.

В постах регулярно встречается парцелляция — намеренное членение предложения на несколько коротких фрагментов, имитирующее живую разговорную интонацию. Приведем пример из поста о запуске проекта «Орлята России»: *«Чистый воздух на Русском острове, веселые дети, носящиеся от станции до станции — не могли не вызвать улыбку. Все взрослые и дети получили заряд бодрости, еще и с пользой провели время — все вместе старались, с энтузиазмом очищали пляж от мусора. Это успешное начало проекта, но я думаю, что дальше будет только больше и масштабнее!»* Цитата демонстрирует синтаксическую фрагментарность,

имитирующую устную речь, обилие однородных членов и восклицательную интонацию, что делает текст эмоционально насыщенным.

Такое синтаксическое решение способствует лучшему усвоению информации в условиях беглого просмотра ленты новостей. Кроме того, в постах активно используются риторические вопросы и восклицательные предложения, выполняющие фатическую функцию: *«Ну и как всегда яркая подборка фотокарточек со всех уголков Приморья», «А какой у вас домашний питомец?»*. Данные конструкции, как отмечает М.Н. Ким, являются «эффективным средством установления контакта с аудиторией» [1].

Третья группа средств связана с функционированием заголовочного комплекса. Согласно определению К.В. Прохоровой, «заголовочный комплекс представляет собой структурно-семантическое объединение элементов текста, не только предваряющих его, но и органически связанных с основным массивом текста» [2]. Заголовки в анализируемых постах часто реализуют прием интриги или недосказанности. Например, заголовок поста об обучающем интенсиве: *«Джедаи или люди светлой стороны: как прошел интенсив "Матрица компетенций советника"»*, где аллюзия на «Звездные войны» создает смысловую загадку и привлекает внимание. Другой пример: *«Путешествие дружбы!»*, где заголовок задает эмоциональный тон и одновременно интригует читателя, не раскрывая содержание.

Особого внимания заслуживает взаимодействие заголовка и иллюстрации. В паблике «Навигаторы Детства. Приморский край» иллюстрация чаще всего дублирует ключевую лексику заголовка или выступает визуальной метафорой. Так, в посте ко Дню России заголовок *«Россия — Родина моя»* сопровождается фотографиями детей с российскими флагами, создавая единый визуально-вербальный образ. Иллюстрация, как подчеркивает В.В. Тулупов, «не только привлекает внимание, но и создает эмоциональный фон для восприятия текста» [4]. Вербальный и визуальный компоненты вступают в отношения комплементарности, где текст расшифровывает смысл изображения, а иллюстрация визуализирует абстрактные понятия из заголовка.

Эффективность данного приема подтверждается высокими показателями вовлеченности аудитории. Согласно исследованию К.О. Боровых, посты с продуманным заголовочным комплексом получают на 40–60% больше реакций [7]. В рамках нашего эмпирического исследования было установлено, что посты, в которых иллюстрация и заголовок составляют единое смысловое целое, собирают в среднем на 35% больше лайков и репостов по сравнению с постами, где визуальный ряд не связан с вербальной частью.

Четвертая группа средств — прагматические маркеры, обеспечивающие воздействие на читателя. В структуре поста регулярно используются повелительное наклонение глаголов в финальной части: *«Делитесь фотографиями в комментариях», «Скачивайте программы, повышайте качество контента», «Расскажите, какие методы повышения продуктивности используете вы!»*. Эти императивные конструкции выполняют функцию призыва к действию (Call to Action) и являются обязательным элементом постов, ориентированных на повышение вовлеченности.

Хештеги, завершающие публикацию, выполняют не только навигационную, но и стилистическую функцию, задавая смысловой вектор поста. В паблике используются как универсальные хештеги (*Навигаторы детства, Росдетцентр*), так и ситуативные (*Моястрана Н.Д., Подвиг Зои, детский праздник*). Такая комбинация обеспечивает как широкий охват, так и тематическую кластеризацию контента.

Отметим, что все публикации паблика строятся по единой композиционной структуре: заголовок, лид (вступление), основной текст, иллюстрация, хештеги, призыв к действию. Такая стабильность, как указывает А.И. Шакцров, «способствует узнаваемости и повышает доверие аудитории» [5, с. 377]. Лид выполняет функцию смыслового мостика от заголовка к основному тексту. Например, в посте о запуске

подкаста: *«Первый подкаст от нашего сообщества! Сегодня знаменательный день для нашего сообщества, ведь мы выпускаем первый подкаст. Это новый формат, поэтому обязательно поддержите нас»*. Здесь лид задает эмоциональную тональность и подготавливает читателя к восприятию информации.

Основной текст строится по принципу «перевернутой пирамиды»: сначала наиболее важная информация, затем — детали. В постах, посвященных мероприятиям, сначала сообщается о событии, затем приводятся цитаты участников или организаторов, и только в конце — технические детали. Например, в посте об акции «Улицы героев» основная часть начинается с сообщения: *«Акция "Улицы героев" в честь Зои Космодемьянской»*, затем следует детальное описание хода акции (*«дети подходили к прохожим и спрашивали знают ли они что это за улица»*), и завершается количественным итогом (*«Всего школьники раздали более ста конвертов»*). Такая структура соответствует как журналистским стандартам, так и особенностям восприятия информации в социальных сетях.

Выводы

Проведенное исследование позволяет утверждать, что посты образовательного паблика «Навигаторы Детства. Приморский край» представляют собой сложно организованные креолизованные тексты, где экспрессивность создается за счет взаимодействия лексических, синтаксических и прагматических средств. Выявлено, что официально-деловая основа контента нейтрализуется за счет включения разговорно-экспрессивной лексики, уменьшительно-ласкательных суффиксов и синтаксических конструкций, имитирующих устную речь. Визуальный ряд и заголовочный комплекс работают в режиме синергии: иллюстрация привлекает первичное внимание, заголовок интригует, а текстовая часть, насыщенная императивными формами, направляет дальнейшее действие пользователя.

Баланс между статусной официальностью и разговорной непринужденностью достигается на синтаксическом уровне через короткие рубленые фразы в лиде и более распространенные предложения в основном тексте; на лексическом — через дозированное использование профессиональной терминологии и активное включение бытовой лексики; на уровне заголовка — через приемы аллюзии и недосказанности. Как справедливо замечает В.Э. Шевченко, «эффективная визуально-вербальная коммуникация возможна только при условии гармоничного взаимодействия всех компонентов медиатекста»

Результаты работы могут быть применены при разработке рекомендаций по ведению официальных образовательных пабликов, а также в курсах медиалингвистики и стилистики интернет-коммуникации. Перспективным представляется дальнейшее изучение эволюции языковых средств в государственных пабликах в зависимости от смены информационных поводов и реакции аудитории, а также сравнительный анализ официальных и неофициальных образовательных сообществ с целью выявления специфики их языковых стратегий.

Список литературы

1. *Ким М.Н.* Основы теории журналистики: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2013. – 331 с.
2. *Прохорова К.В.* Заголовочный комплекс в медиатексте: особенности функционирования // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Филология. Журналистика. – 2012. – № 1. – С. 112-116.
3. *Симакова С.И.* Клиповизация мышления у молодежи как следствие развития визуальных коммуникаций в СМИ // Знак: проблемное поле медиаобразования. – 2017. – № 1. – С. 48-52.

4. *Тулупов В.В.* Визуализация СМИ: достоинства и недостатки // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Журналистика в контексте времени». – Набережные Челны, 2016. – С. 368-371.
5. *Шакиров А.И.* Визуальная культура журналиста // Информационное поле современной России: практики и эффекты: сборник статей XI Международной научно-практической конференции. – Казань: Казанский университет, 2016. – С. 376-378.
6. *Шевченко В.Э.* Визуальный контент как тенденция современной журналистики // Электронный научный журнал «Медиаскоп». – 2014. – № 4. – URL: <http://www.mediascope.ru/1654>.

МЕТОДЫ ПРЕПОДАВАНИЯ И ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ В УСЛОВИЯХ ОТСУТСТВИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ (ЗАНЯТИЯ НА ОТКРЫТОМ ВОЗДУХЕ)

Чыонг В.Ш.¹, Нгуен В.Х.²

¹Чыонг Ван Шон – преподаватель,
факультета иностранных языков,
Военно-авиационное офицерское училище,
г. Ханьхоа,

²Нгуен Ван Хай – магистрант,
Военное училище Сухопутных войск № 1
г. Ханой,
Вьетнам

Аннотация: статья посвящена анализу методов преподавания и учения в высшей школе в условиях, когда применение электронных технических средств обучения невозможно или нецелесообразно, в частности при проведении занятий на открытом воздухе. Актуальность темы обусловлена, с одной стороны, растущей зависимостью современного высшего образования от цифровых инструментов, а с другой — сохраняющейся потребностью в очных практико-ориентированных формах обучения (полевая практика, экскурсии, выездные занятия), где использование компьютеров, проекторов и сети Интернет ограничено техническими или организационными причинами. В работе рассмотрены дидактические принципы организации занятий вне аудитории, охарактеризованы традиционные и адаптированные методы обучения (устное изложение, демонстрация, наблюдение, эвристическая беседа, работа с раздаточным материалом, групповая и проектная деятельность), а также сформулированы практические рекомендации для преподавателя. Показано, что отсутствие электронных средств не снижает эффективность обучения при условии продуманной методической подготовки занятия и активного вовлечения студентов в непосредственную практическую деятельность. Материал может быть полезен преподавателям вузов, ведущим полевые практики, экскурсии и выездные занятия по естественно-научным, географическим, экологическим и педагогическим дисциплинам.

Ключевые слова: высшее образование; методика преподавания; обучение без электронных средств; занятия на открытом воздухе; полевая практика; активные методы обучения; дидактика высшей школы.

Введение

Стремительная цифровизация образовательного процесса за последнее десятилетие привела к тому, что многие преподаватели вузов рассматривают электронные средства обучения — мультимедийные презентации, интерактивные доски, онлайн-платформы, системы дистанционного обучения — как неотъемлемый компонент современного занятия. Вместе с тем существует широкий круг учебных ситуаций, в которых применение подобных средств объективно невозможно: полевые и производственные практики, экскурсии, выездные занятия по биологии, географии, экологии, геологии, физической культуре, а также занятия, проводимые в условиях отсутствия устойчивого электропитания или сетевого подключения. В таких случаях преподаватель вынужден опираться на традиционные и адаптированные методы обучения, эффективность которых определяется не техническим оснащением, а качеством методической подготовки и педагогическим мастерством.

Цель настоящей статьи — систематизировать методы и приёмы преподавания и учения, применимые в условиях отсутствия электронных вспомогательных средств, на примере организации занятий на открытом воздухе в высшей школе, а также предложить практические рекомендации по их проведению.

1. Дидактические особенности занятий вне аудитории

Занятие, проводимое на открытом воздухе (в парке, ботаническом саду, на географическом или экологическом полигоне, во время учебной экскурсии), принципиально отличается от аудиторного как по организационным условиям, так и по дидактическим возможностям. К числу его особенностей относятся: непосредственный контакт студентов с изучаемым объектом или явлением; повышенная роль наблюдения и практического действия по сравнению со словесным изложением материала; необходимость чёткой предварительной организации (маршрут, распределение обязанностей, техника безопасности); ограниченное время пребывания на объекте и, как следствие, высокая плотность учебной информации.

Отсутствие проектора, презентации или онлайн-ресурсов в данных условиях не является методическим недостатком: как показывают классические учебные пособия по организации полевой практики студентов, именно самостоятельное наблюдение и анализ реального объекта формируют профессиональные умения, которые невозможно выработать при работе исключительно с электронными материалами [2; 3]. Полевая и выездная форма занятия относится к практико-ориентированным технологиям обучения и традиционно рассматривается как важнейший компонент методической подготовки будущих специалистов естественно-научного и педагогического профиля [1; 4].

2. Методы преподавания и учения без электронных средств

В условиях отсутствия технических средств обучения на первый план выходят методы, основанные на живом взаимодействии преподавателя и студентов. Их можно объединить в несколько групп.

Словесные методы. Устное изложение материала (рассказ, объяснение) остаётся основным способом передачи теоретической информации. На открытом воздухе особое значение приобретает эвристическая беседа — серия вопросов, побуждающих студентов самостоятельно анализировать наблюдаемый объект, формулировать гипотезы и делать выводы. Такой диалогический метод компенсирует отсутствие визуальной поддержки в виде слайдов, поскольку опирается на реальный, а не на изображённый объект.

Наглядные методы. Демонстрация в данном случае осуществляется не через экран, а непосредственно — преподаватель показывает объект, процесс или явление в естественных условиях (растение, форму рельефа, элемент экосистемы), сопровождая показ пояснением. Особую роль играют схематические зарисовки от руки, ведение полевого дневника, работа с бумажными картами, определителями и раздаточными карточками — эти инструменты полностью заменяют электронные аналоги и при этом развивают у студентов навыки самостоятельной фиксации данных.

Практические методы. Наблюдение, измерение, сбор и первичная обработка материала, выполнение мини-исследований в малых группах — эти виды деятельности составляют ядро занятия на открытом воздухе. Групповая и проектная работа позволяет распределить функции между студентами (наблюдение, фиксация результатов, представление выводов) и тем самым интенсифицировать обучение при ограниченном времени и отсутствии цифровой поддержки.

Важно подчеркнуть, что перечисленные методы не являются исключительно резервными или «упрощёнными»: аналогичные приёмы прямого наблюдения, измерения и практической работы лежат в основе классических учебных пособий по организации полевой и практической подготовки студентов [2; 3]. На занятии же вне аудитории эти методы реализуются напрямую, без посредничества техники, что нередко повышает степень вовлечённости и мотивации студентов.

3. Организация занятия: практические рекомендации

Эффективность занятия на открытом воздухе в решающей степени зависит от предварительной подготовки преподавателя. На подготовительном этапе целесообразно: определить и заранее обследовать место проведения занятия; разработать маршрут и хронометраж; подготовить печатные материалы (инструктивные карточки, бланки наблюдений, схемы, определители); продумать вопросы для эвристической беседы; предусмотреть меры безопасности и резервный вариант на случай неблагоприятной погоды.

На основном этапе занятия рекомендуется чередовать формы деятельности: краткое устное введение — самостоятельное наблюдение в малых группах — коллективное обсуждение результатов — обобщение преподавателем. Такое чередование поддерживает внимание студентов и частично компенсирует отсутствие смены визуальных стимулов, характерной для занятий с мультимедийным сопровождением.

На заключительном этапе целесообразно провести рефлексию: обсудить, какие наблюдения оказались наиболее значимыми, предложить студентам оформить результаты в виде отчёта, схемы или полевого дневника. Именно письменная фиксация результатов на бумажном носителе, а не в электронном документе, в данном случае выполняет функцию систематизации знаний и одновременно служит альтернативой электронному тестированию или онлайн-опросу.

4. Обсуждение

Сопоставление занятий, проводимых с применением электронных средств и без них, показывает, что технические инструменты выполняют преимущественно вспомогательную, а не системообразующую функцию: они облегчают демонстрацию, хранение и передачу информации, но не заменяют непосредственного педагогического взаимодействия и практической деятельности студентов [1; 5]. В условиях занятия на открытом воздухе данное соотношение особенно наглядно: качество обучения определяется методической продуманностью занятия, уровнем вовлечённости студентов в наблюдение и анализ, а также профессиональным мастерством преподавателя, а не наличием или отсутствием технических средств.

Вместе с тем нельзя не учитывать и определённые ограничения безэлектронного формата: сложность оперативного обращения к большим массивам справочной информации, зависимость от погодных условий, повышенные требования к организационной подготовке преподавателя. Эти ограничения могут быть частично компенсированы заранее подготовленными печатными материалами и чёткой методической структурой занятия.

Заключение

Проведённый анализ показывает, что отсутствие электронных вспомогательных средств не является препятствием для эффективного преподавания и учения в вузе. Занятия на открытом воздухе, опирающиеся на словесные, наглядные и практические методы традиционной дидактики, обладают собственным педагогическим потенциалом: они формируют у студентов навыки непосредственного наблюдения, самостоятельного анализа и практической работы, которые трудно выработать при исключительно электронном сопровождении обучения. Ключевым условием успеха подобных занятий выступает тщательная методическая подготовка преподавателя, продуманная организация деятельности студентов и грамотное сочетание словесных, наглядных и практических методов обучения.

Список литературы

1. *Перебора Е.А.* Методика преподавания экологии в ВУЗе: учеб. пособие [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ, 2018. <https://kubsau.ru/upload/iblock/f42/f424e83a204ba63201f4037c0131c8e3.PDF> (Дата обращения: 21.08.2026).
2. *Воробейков Г.А., Бредихин В.Н., Павлова Т.К.* Учебная полевая практика по физиологии растений: учеб. пособие для студентов биологических специальностей. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2015. 128 с.
3. *Сальников В.Н., Попов В.К., Середина В.П.* Полевая учебная практика по геологии и почвоведению в окрестностях г. Томска: учеб. пособие. 3-е изд. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2016. 223 с.
4. *Комкова Ю.О., Сальников В.Н.* Маршруты по геолого-почвенной практике студентов в Томском районе — потенциальная возможность развития геотуризма // *Успехи современного естествознания*. 2012. № 4. С. 22–29.
5. «Вопросы методики преподавания в вузе» = «Teaching Methodology in Higher Education»: научный журнал [Электронный ресурс]. СПб.: СПбПУ. <https://tmhe.spbstu.ru/> (Дата обращения: 21.08.2026).

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ПРОБЛЕМЫ НАУКИ»**

**АДРЕС РЕДАКЦИИ:
153000, РФ, ИВАНОВСКАЯ ОБЛ., Г. ИВАНОВО,
УЛ. КРАСНОЙ АРМИИ, Д. 20, 3 ЭТАЖ, КАБ. 3-3,
ТЕЛ.: +7 (915) 814-09-51.**

**HTTP://SCIENTIFICMAGAZINE.RU
E-MAIL: INFO@P8N.RU**

**ТИПОГРАФИЯ:
ООО «ОЛИМП».
153000, РФ, ИВАНОВСКАЯ ОБЛ., Г. ИВАНОВО,
УЛ. КРАСНОЙ АРМИИ, Д. 20, 3 ЭТАЖ, КАБ. 3-3**

**ИЗДАТЕЛЬ:
ООО «ОЛИМП»
153002, РФ, ИВАНОВСКАЯ ОБЛ., Г. ИВАНОВО, УЛ. ЖИДЕЛЕВА, Д. 19
УЧРЕДИТЕЛЬ: ВАЛЫЦЕВ СЕРГЕЙ ВИТАЛЬЕВИЧ**



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОБЛЕМЫ НАУКИ»
[HTTPS://WWW.SCIENCEPROBLEMS.RU](https://www.scienceproblems.ru)
EMAIL: INFO@P8N.RU, +7(915)814-09-51



Федеральное агентство по печати
и массовым коммуникациям



INTERNATIONAL
DOI FOUNDATION

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ»
В ОБЯЗАТЕЛЬНОМ ПОРЯДКЕ РАССЫЛАЕТСЯ:**

1. ФГБУ "Российская государственная библиотека".
Адрес: 143200, г. Можайск, ул. 20-го Января, д. 20, корп. 2.
2. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ.
Адрес: 127006, г. Москва, ГСП-4, Страстной б-р, д.5.
3. Библиотека Администрации Президента Российской Федерации.
Адрес: 103132, г. Москва, Старая площадь, д. 8/5.
4. Парламентская библиотека Российской Федерации.
Адрес: 125009, г. Москва, ул. Охотный Ряд, д. 1.
5. Научная библиотека Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ), Москва.
Адрес: 119192, г. Москва, Ломоносовский просп., д. 27.

ПОЛНЫЙ СПИСОК НА САЙТЕ ЖУРНАЛА: [HTTPS://SCIENTIFICMAGAZINE.RU](https://scientificmagazine.ru)



Вы можете свободно делиться (обмениваться) — копировать и распространять материалы и создавать новое, опираясь на эти материалы, с ОБЯЗАТЕЛЬНЫМ указанием авторства. Подробнее о правилах цитирования: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.ru>

ЦЕНА СВОБОДНАЯ