

Анализ еще одной системы единиц, претендующей на объединение систем СИ и СГС

В данной статье анализируется предложенная М.Г.Ивановым система единиц, предусматривающая корректировку системы СИ в направлении сближения ее с системой единиц СГС. Показаны недостатки этого предложения, в том числе в системном представлении физических величин и закономерностей. В использовании для системного представления единиц и размерностей СИ рекомендован вариант, наиболее подходящий для учебных и исследовательских целей.

В журнале «Инженерная физика» № 1 за 2015 год опубликована статья М. Г. Иванова «Физико-техническая система единиц для электродинамики». Появление этой статьи воспринимается мною как очередное предложение физиков-релятивистов подправить систему СИ в направлении подгонки или приспособления ее к уравнениям связи, используемым в системе единиц СГС. Последнюю они считают «соответствующей современным физическим взглядам», а систему СИ – не соответствующей им [1–3]. Под современными физическими взглядами они понимают теорию относительности Эйнштейна, противоречить которой запрещено в академической печати, а ее противников до сих пор подвергают всяческой обструкции, преследованиям и гонениям.

Нужно ли подправлять систему СИ?

В статье М. Г. Иванова признается практическая ценность и значимость системы СИ для инженеров и практиков, но также отмечается недовольство ею физиков-теоретиков. Недовольство последних связано с отсутствием в СИ равенства размерностей и абсолютных значений (для вакуума) электрических и магнитных векторов E , D , B и H , что диктуется специальной теорией относительности (СТО). Согласно СТО среды, передающей электромагнитные взаимодействия, не существует, магнетизм есть кажущееся явление, а обозначенные векторы, по сути, представляют собой одно и то же.

Для «исправления» системы СИ Ивановым предложено ввести в эту

А. С. Чуев,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Физика»
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Ключевые слова: физические величины, системы единиц, СГС, СИ, уравнения связи, система физических величин, система закономерностей.
Keywords: physical quantities, systems of units, CGS, SI, equations of constraint, a system of physical quantities, a system of laws.

систему два уточняющих «переводных коэффициента» – один для всех полевых величин, другой для отдельных источников поля (зарядов, токов и моментов). Один из переводных коэффициентов, обозначаемый

$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0},$$

взят из закона Кулона

системы СИ, второй коэффициент представляет собой значение, обратное первому. Произведение этих двух коэффициентов дает единицу, и не очень понятно – зачем их нужно обязательно два.

В статье Иванова пишется: «При такой реформе широкая публика не заметит изменений, связанных с изменением единиц магнитного поля, т.к. ампер, вольт, ом, фарад остаются неизменными. Для большинства физиков и инженеров переход также не должен представлять большой трудности, т.к. для электрических цепей останутся прежние единицы СИ, а для полей уравнения близкие к уравнениям СГС».

Таким образом, пишет Иванов, «вековой спор о системах единиц в электродинамике может быть разрешен в ближайшие годы, если сообщество физиков активно проявит свою позицию».

Во-первых, заметим, нехорошо идти на обман «широкой публики», которая, по мнению Иванова, «не заметит изменений, связанных с изменением единиц магнитного поля». Во-вторых, высказываться за все сообщество физиков в деле безусловной поддержки специальной теории относительности (СТО) Эйнштейна вряд ли оправданно как в прошлом, так и в настоящем. С самого начала появления этой теории у нее было много противников, среди них, в том числе, такие известные физики, как Бриллюэн, Бриджмен, Ленард, Лауэ, Миткевич.

Кроме сообщества физиков, есть еще сообщество метрологов, позиция которых в отношении систем СИ и СГС давно определилась. В метрологии систему СГС вполне оправданно расценивают как бифуркацию [4], которая неизбежно должна исчезнуть с уходом в мир иной физиков-релятивистов, ее возбудивших и поддерживающих. Правда, и среди ученых, занимающихся вопросами метрологии, есть сторонники модификации системы СИ. Например, Г.М. Трунов предлагает свои «исправления» системы СИ под уравнения системы СГС с заменой основной физической величины силы тока на электрический заряд [5]. Автор настоящей статьи свое отрицательное мнение на предложения Г.М. Трунова уже высказывал в работах [6, 7].

От физика Иванова мы имеем несколько иное предложение, предусматривающее объединение двух систем СИ и СГС. Считаю данное предложение действительно новым, оно отличается от предложений Трунова, поэтому должно быть внимательно рассмотрено и соответствующие отклики физиков и метрологов, заинтересованных в таком обсуждении, обнародованы.

Анализируя предложение Иванова с метрологической точки зрения и с системных позиций в самой физике, автор настоящей статьи считает его возможным, но нецелесообразным. Данное предложение не является столь уж простым и малозначимым (как преподносит его автор) и для метрологии, и для физики. Если же предложение Иванова оценивать с системных позиций, то оно явно проигрышное.

Физический анализ системы ФТ

Рассмотрим, что последует за предлагаемым «одновременным

переходом к одинаковым единицам В/м для всех четырех полей \mathbf{E} , \mathbf{D} , \mathbf{V} и \mathbf{H} ». Для этого изучим, как изменятся в СИ размерности указанных четырех и других электромагнитных величин, каковы будут изменения в уравнениях связи и как это будет выглядеть в системе физических величин и закономерностей (ФВиЗ) [8], образуемой с учетом размерностных взаимосвязей физических величин (ФВ) в той или иной системе единиц.

Чтобы предметно судить о системе единиц, предлагаемой Ивановым, рассмотрим главные особенности этой системы, названной ее автором физико-технической (ФТ).

В системе ФТ уравнения электродинамики принимают вид:

$$\operatorname{div}\mathbf{B} = 0, \operatorname{rot}\mathbf{E} = -\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t}, \operatorname{div}\mathbf{D} = 4\pi k_e \rho,$$

$$\operatorname{rot}\mathbf{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial\mathbf{D}}{\partial t} + \frac{4\pi}{k_e} \mathbf{j},$$

$$\mathbf{S} = \frac{c}{4\pi k_e} [\mathbf{E} \times \mathbf{H}], W = \frac{(\mathbf{E}, \mathbf{D}) + (\mathbf{V}, \mathbf{H})}{8\pi k_e},$$

$$\mathbf{F} = q \left(\mathbf{E} + \frac{1}{c} [\mathbf{E} \times \mathbf{H}] \right), L = \frac{\Phi}{cI},$$

$$\mathbf{D} = \mathbf{E} + 4\pi k_e \mathbf{P}, \mathbf{H} = \mathbf{V} - 4\pi k_e \mathbf{M}.$$

Формат написания и обозначения в формулах приведены в соответствии с оригиналом [1]. В приводимых формулах обозначено: c – скорость света; \mathbf{M} – вектор намагниченности (далее мы будем обозначать его буквой \mathbf{J}); $k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ – переводной коэффициент для некоторых единиц СИ; W – судя по всему, объемная плотность энергии. Остальные обозначения общепринятые, их расшифровывать не станем.

Ивановым отмечается, что «в уравнениях для электрических цепей и определениях мультипольных моментов никаких подстановок делать не надо, они сохраняют

АНАЛИЗ ЕЩЕ ОДНОЙ СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ, ПРЕТЕНДУЮЩЕЙ НА ОБЪЕДИНЕНИЕ СИСТЕМ СИ И СГС

тот же вид, что и в гауссовой системе».

Относительно гауссовой системы (СГС), на которую делает ставку Иванов как наиболее верную, скажем так: она вовсе не идеальна, а представляет собой искаженный вариант вполне нормальной системы единиц, которых может быть множество, что проявляется при анализе размерностей физических величин и построении системы ФВиЗ, соответствующей той или иной системе единиц. Подробно такой анализ приведен в работах автора [6, 9].

Коренная физическая ошибка системы СГС, не изжитая и во многих других системах единиц, заключается в причислении *магнитной индукции В* и электрической напряженности *Е* к полевым электромагнитным величинам. На самом деле обе эти величины составные, им присущи следующие выражения, которые в размерностях СИ имеют вид [10]

$$\frac{\vec{B}}{\mu_0} = \vec{H} + \vec{J}, \quad (1)$$

$$\varepsilon_0 \vec{E} = \vec{D} + \vec{P}^*. \quad (2)$$

В последнем выражении вектор $\vec{P}^* = -\kappa \varepsilon_0 \vec{E} = -\vec{P}$ представлен как модифицированный вектор *поляризованности*, имеющий естественное (совпадающее с вектором \vec{E}) направление от зарядов положительного знака к отрицательным. Эти уравнения подробно анализируются в работах автора [11, 12], поэтому здесь они детально рассматриваться не будут. Скажем только, что по физическому смыслу вектор \vec{H} – это *намагниченность* вакуума, а вектор \vec{D} – его *поляризованность*.

Надо отметить, что соотношения электрических и магнитных величин, соответствующие выражениям (1) и (2), встречаются и у дру-

Вариант системы физических величин и закономерностей
(на базе действующей системы единиц СГС)

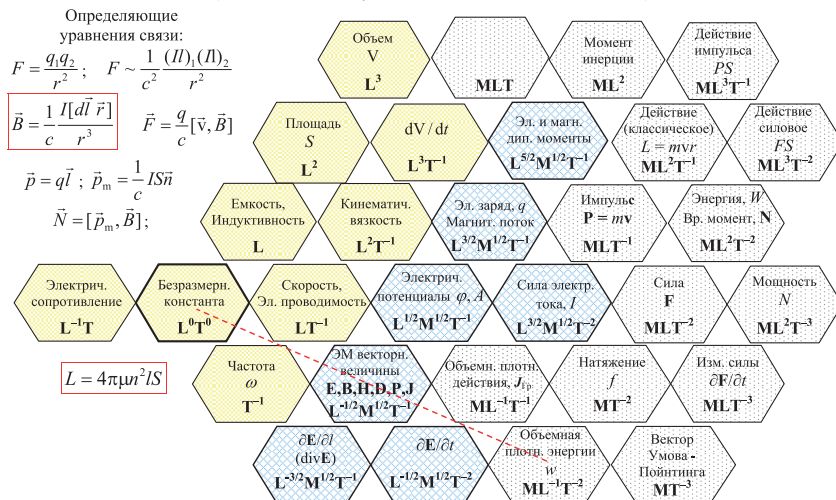


Рис. 1 Система ФВиЗ на уравнениях связи системы единиц СГС

гих авторов, но объяснение им дается иное [13] или вообще не дается.

Коренная метрологическая ошибка системы СГС состоит в неправильном определении уравнения связи для магнитной индукции по закону Био-Савара-Лапласа. В системе СГС, где скрытно присутствует магнитная постоянная со значением $\mu_0 = 1/c^2$, вставили еще одно c (c – скорость света). При этом уравнение связи приняло такой вид:

$$d\vec{B} = \mu_0 c \frac{I [d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3} = \frac{1}{c} \frac{I [d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}. \quad (3)$$

В результате единица *магнитной индукции* оказалась увеличенной в c раз. Данное изменение размерности и размера единицы магнитной индукции повлекло за собой целую цепь изменений (по сути, искажений уравнений связи), что детально рассмотрено в работах автора [7, 14].

Для наглядного показа происходящих изменений приведем системы ФВиЗ, построенные на размерностях систем единиц СГС, СИ

и ФТ. Система ФВиЗ применительно к системе СГС представлена на рис. 1. Она, надо сказать, имеет достаточно убогий и малопрактичный вид (в смысле использования в учебных и исследовательских целях). Здесь все электромагнитные величины располагаются на двух системных уровнях (в двух группах), причем структурно-средовые электромагнитные величины являются общими с кинематическими общими базовыми величинами, имея в своей размерности только *длину* (L) и *время* (T). Некоторые используемые здесь термины авторские, их значения приводятся в работах [8–10].

На рис. 1 пунктирной линией обозначена системная закономерность, выражающая объемную плотность энергии электрического и магнитного полей в системе СГС. Данная закономерность будет обозначаться и на других рисунках с целью иллюстрации преобразования системы ФВиЗ в зависимости от принятой системы единиц.

Исходные отличия систем СГС и СИ

Прежде чем переходить к рассмотрению особенностей системы ФТ, предложенной Ивановым, как он поясняет, с целью конвергенции двух систем единиц, отметим исходные отличия систем СГС и СИ, не считая их очевидных различий в размерностях *электрического заряда* и *силы тока*.

В системе СИ, если к ней подходить объективно, значение магнитной постоянной μ_0 принято безразмерным, а значение $\epsilon_0 = \frac{1}{c^2}$ [7]. На это, в частности, указывает числовое значение коэффициента

$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0},$$

где все цифры принадле-

жат значению квадрата скорости света, но не соответствуют этому значению ни в СИ, ни в СГС. Числовые значения 4π и 10^{-7} , которые приписаны в СИ магнитной постоянной μ_0 , обусловлены лишь рационализацией уравнений связи (введение 4π) и переходом от единиц измерения *силы* и *длины* в СГС к их единицам в СИ (составляющая 10^{-7}).

Если строить систему ФВиЗ на уравнениях связи системы СИ, то ее «родной» вариант будет выглядеть так, как это показано на рис. 2. Слово «родной» здесь означает то, что *электрический заряд* в этом варианте системы расположен по месту его расположения в LT -размерностном варианте исполнения системы ФВиЗ. Хотя это и не является обязательным условием построения системы ФВиЗ, а определяет лишь удобство пользования системой.

Различные варианты построения системы ФВиЗ с использованием размерностей физических величин в СИ рассмотрены в работе [6]. Эти варианты различа-

Система физических величин и закономерностей (базовый вариант по уравнениям системы СИ)

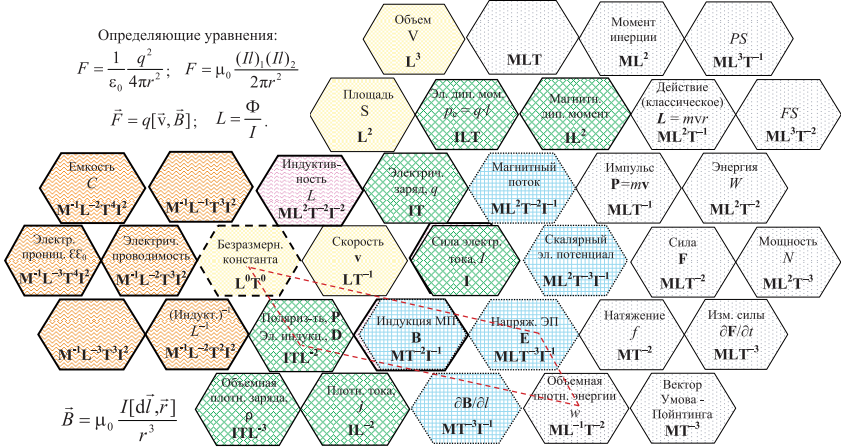


Рис. 2
Вариант системы ФВиЗ на уравнениях связи системы единиц СИ

Вариант системы физических величин и закономерностей (по уравнениям связи, предлагаемым Ивановым М.Г.)

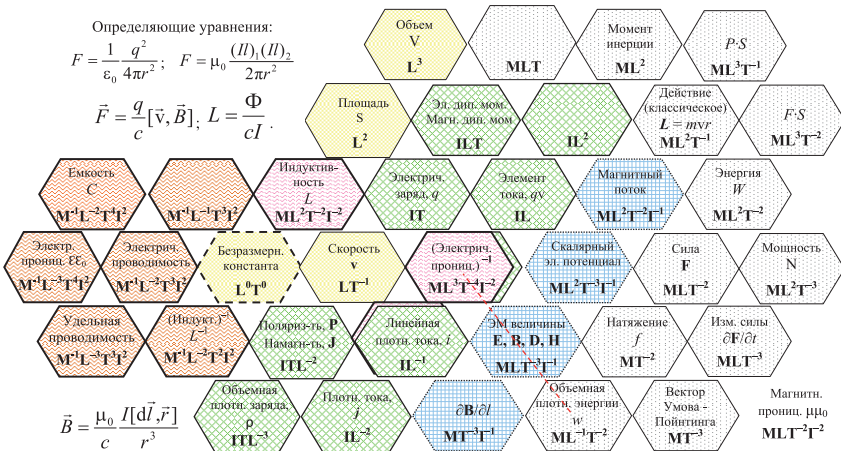


Рис. 3
Система ФВиЗ по предложениям М.Г. Иванова

ются степенью раскрытия отдельных системных групп (кластеров) электромагнитных величин, что и определяет удобство пользования тем или другим вариантом системы. Вариант, наиболее подходящий для практического использования, будет показан чуть позже. Выделенный параллелограмм рис. 2 показывает системную зако-

номерность, обозначающую *объемную плотность энергии* электрического поля. Если бы мы захотели обозначить здесь же объемную плотность энергии магнитного поля, то она имела бы вид прямых совпадающих линий, поскольку *напряженность* магнитного поля, принадлежащая базовым электромагнитным величинам (обозна-

АНАЛИЗ ЕЩЕ ОДНОЙ СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ, ПРЕТЕНДУЮЩЕЙ НА ОБЪЕДИНЕНИЕ СИ И СГС

чены зеленым цветом), в этом варианте системы «прячется» за магнитной индукцией и обе они участвуют в закономерности.

Системный анализ варианта ФТ

На рис. 3 приведена система ФВиЗ с размерностями физических величин и их системными связями, соответствующими предлагаемой Ивановым системе единиц ФТ. Вполне очевидно, что в части системного расположения и системных взаимосвязей внутри структурно-средовых электромагнитных величин (индуктивность, емкость, проводимость и др.) системы рис. 2 и рис. 3 совпадают. Это позволяет снять с системы ФТ часть обвинений в искаженности, которые предъявлялись к системе СГС [7, 14].

Однако по расположению полевых (обозначены голубым цветом) и базовых электромагнитных величин (зеленого цвета) эти системы во многом схожи, поскольку система ФТ изначально была нацелена на сохранение уравнений связи, присущих СГС. Можно сказать, что в этом отношении поставленная цель была достигнута и большинство искажений системы СГС, обозначенных в работах [7, 14], перешли в предлагаемую систему ФТ.

Упомянутые искажения (неоправданное присутствие скорости света в уравнениях связи) системы ФТ, например, как эти:

$$B = c \frac{F}{(H)_{\text{пр}}}; \quad p_m = \frac{1}{c} IS; \quad E = -\frac{1}{c} \frac{d\Phi}{dt};$$

$$\vec{F} = \frac{q}{c} [\vec{v}, \vec{B}]; \quad H = \frac{1}{c} \frac{2I}{b}, \text{ выглядят}$$

странно и противоестественно. Можно привести и другие формулы, в которых как в системе ФТ,

так и в СГС неоправданно присутствует c – скорость света:

$$L = \frac{\Phi}{cI} - \text{взаимосвязь магнитного}$$

потока Φ с силой тока I , протекающего через индуктивность L ;

$$\Phi_0 = \frac{ch}{2e} - \text{определение кванта}$$

магнитного потока через элементарный электрический заряд e и постоянную Планка h ;

$$\Phi_0 = \mu_0 \frac{(I)_{\text{КВ}}}{4c} - \text{системная взаимосвязь}$$

(согласно ФВиЗ) кванта магнитного потока Φ_0 с квантом линейного элемента тока $(I)_{\text{КВ}}$ (последний предположителен и нуждается в проверке и уточнении).

Неразличимость в ФТ электрического дипольного момента и магнитного дипольного момента, а также их объемных плотностей – поляризованности и намагниченности – тоже выглядят противоестественно.

Ущербность системы единиц, предлагаемой Ивановым, особенно явно проявляется в уравне-

ниях связи для объемной плотности энергии электрического и магнитного полей. Данные системные закономерности обозначены на рис. 3 пунктирной линией. Эти закономерности по отдельности для электрического и магнитного полей в вакууме, очевидно, должны определяться следующими размерностными соотношениями:

$$w = \frac{(\vec{E}, \vec{D})}{2\epsilon_0}, \quad w = \frac{c^2 \mu_0 (\vec{B}, \vec{H})}{2}.$$

Данные соотношения не совпадают с формулами Иванова, приводимыми нами в начале статьи, хотя по размерностям они идентичны. На наш взгляд, объединять в одну формулу магнитные величины и электрическую постоянную противоестественно.

Таким образом, следует сделать однозначный вывод о том, что считать предлагаемую М.Г. Ивановым систему единиц ФТ лучшей по сравнению с системой СИ, никаких оснований нет.

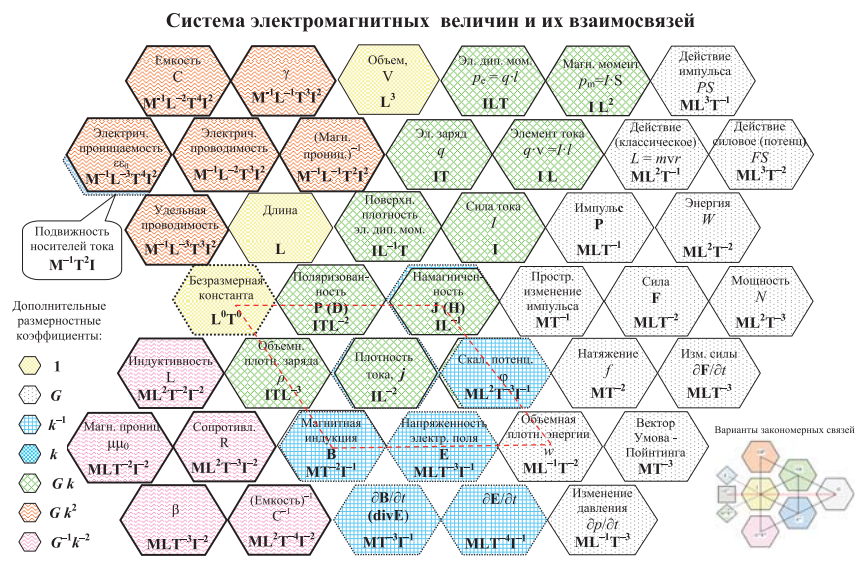


Рис. 4. Вариант системы ФВиЗ, наиболее подходящий для иллюстрации электромагнитных величин и их закономерных связей в размерностях СИ

В СИ следует использовать лучшее

Вариант системы ФВиЗ, выполненной на существующих размерностях системы СИ и который можно рекомендовать как наиболее подходящий для практического использования (в учебных и исследовательских целях в области электромагнетизма), представлен на рис. 4.

Этот вариант системы ФВиЗ при небольшой степени наложения системных групп друг на друга достаточно компактен. В расположении системных групп имеются определенные признаки симметрии, что указывает на совершенство этого варианта системы. Поиску системных закономерностей с помощью «выделенных параллелограммов» или «выделенных линий» помогает дополнительная картинка (на рис. 4 справа внизу), показывающая всевозможные варианты закономерных связей с обозначением системных групп соответствующей окраской. Слева на изображении рис. 4 приведены дополнительные размерностные коэффициенты, имеющие подобную окраску, обозначающую их принадлежность к той или иной системной группе.

Красными пунктирными линиями на рис. 4 показана системная закономерность для *объемной плотности энергии* магнитного поля. Для *объемной плотности энергии* электрического поля выделенный параллелограмм будет иным (на противоположных вершинах выделенного параллелограмма **в** и **Н** окажутся **Е** и **D**).

Данный вариант системы успешно используется автором в вузовской системе обучения при преподавании курса общей физики в МГТУ им. Н.Э. Баумана [15]. Целесообразным представляется использование системы ФВиЗ и в вузовском учебном курсе по метроло-

гии. При этом будет обеспечено более глубокое изучение студентами системности и единства физических величин, принципа построения и особенностей различных систем единиц, понимание системной роли и метрологической значимости фундаментальных физических констант.

Заключение

Системно-размерностный анализ предложений М. Г. Иванова по корректировке системы СИ в на-

правлении сближения ее с системой единиц СГС не выявил преимуществ этого варианта, многие недостатки СГС в нем сохранены. В сравнении с этим вариантом действующая система СИ имеет явные преимущества в наглядном представлении структуры и закономерных связей физических величин. Поскольку системное представление электромагнитных величин многовариантно и в СИ, рекомендован вариант наиболее подходящий для практического использования в учебных и исследовательских целях.

Литература

1. Иванов М. Г. Физико-техническая система единиц для электродинамики. Инженерная физика. № 1. 2015 г. С. 4–12. (Электронный вариант URL: https://mipt.ru/upload/medialibrary/fe4/fts-inzphys_2015.pdf, дата обращения 16.11.2015).
2. Леонтович М. А. О системах мер. (В связи с введением «Международной системы единиц» как стандарта) // Журн. Вестник РАН. № 6. 1964. Письма в редакцию. С. 123. URL: http://www.ras.ru/publishing/raserald/raserald_articleinfo.aspx?articleid=9cc23ce5-6eb7-4e4ea0e4-1066510bef45, (дата обращения: 16.06.2015).
3. Сивухин Д. В. О международной системе физических величин. УФН. – 1979. Т. 129 – С. 335. URL: http://ufn.ru/ufn79/ufn79_10/Russian/r7910h.pdf, (дата обращения: 16.06.2015).
4. Брянский Л. Н. Бифуркации в метрологии. Журн. «Контрольно-измерительные приборы и системы», № 5, 2008. Электронная версия. URL: http://kipis.ru/archive/articles/index.php?IBLOCK_ID=64&SECTION_ID=462&ELEMENT_ID=11426, (дата обращения 11.07.2013 г.).
5. Трунов Г. М. Инвариантная форма записи уравнений электромагнетизма в системах СИ и СГС. / Г. М. Трунов // Мир измерений. № 6. 2012. С. 50–53.
6. Чуев А. С. О системе СИ и других возможных системах единиц с позиции общей системы физических величин и закономерностей. // Законодательная и прикладная метрология. – 2015. – № 4. – С. 10–15.
7. Чуев А. С. Анализ деформаций в электромагнитных уравнениях связи СГС и почему её до сих пор противопоставляют СИ. // Законодательная и прикладная метрология. № 6, 2014. С. 46–51.
8. Чуев А. С. Система физических величин и закономерных размерностных взаимосвязей между ними. // Законодательная и прикладная метрология. № 3, 2007. С. 30–33.
9. Чуев А. С. Архитектурные модели систем физических величин и закономерностей на базе систем единиц СИ и СГС. // Мир измерений. № 5, 2014. С. 29–36.
10. Чуев А. С. О системном и физическом делении электромагнитных величин, относимых традиционно к группе полевых. Инженерный журнал: наука и инновации, 2014, вып. 7. URL: <http://engjournal.ru/catalog/fundamentals/physics/1295.html>
11. Чуев А. С. О новых подходах в описании стационарного электрического поля внутри диэлектрических сред и на границе их раздела. Инженерный журнал: наука и инновации, 2014, вып. 6. URL: <http://engjournal.ru/catalog/fundamentals/physics/1325.html>, (дата обращения: 05.08.2015).
12. Чуев А. С. О новых подходах в описании стационарного магнитного поля внутри и на границе двух сред. Журнал «Современные научные исследования и инновации». 2015. № 7 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/07/56905>, (дата обращения: 20.11.2015).
13. Скворцов В. К. Физический смысл вектора электрического смещения и напряженности магнитного поля. Элементарный диск местной поляризации. Элементарная трубка местного намагничивания. Инженерная физика. № 9. 2015. Стр. 7–15.
14. Чуев А. С. Анализ деформаций размерностей и уравнений связи электромагнитных величин в системе СГС. // Мир измерений. № 2, 2016. С. 34–39.
15. Чуев А. С., Задорожный Н. А. Компьютерный практикум по изучению системы электромагнитных величин и их закономерностей. Журн. «Физическое образование в вузах». Т. 19. № 1, 2013. С. 98–104.