
Ф.Ф. МЕНДЕ
доктор техн. наук, директор
E-mail: fmende@mail.ru
НИИ Криогенного приборостроения
Физико-технический институт низких температур
им Б.И. Веркина НАН Украины
Харьков, Украина
А.С. ДУБРОВИН,
доктор техн. наук, акад. РАЕН, профессор
E-mail: asd_kiziltash@mail.ru
ФКОУ ВПО Воронежский институт
ФСИН России
г. Воронеж, Российская Федерация

О ФИЗИЧЕСКОМ МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ИНДУКЦИИ

Вблизи проводника, по которому течет ток, образуются электрические поля индукции, эти поля образуются только в том случае, когда к проводнику приложена разность потенциалов и заряды в нем ускоряются. Но, к сожалению, физика этого процесса пока не ясна. В работе на основе концепции скалярно-векторного потенциала раскрывается физический механизм образования полей индукции.

Ключевые слова: законы индукции, уравнения Максвелла, волновое уравнение, преобразования Галилея, скалярно-векторный потенциал.

F.F. MENDE
Doctor of Techn. Sciences, Director
Research institute for cryogenic instrument
engineering B.I. Verkin Institute for Low Temperature
Physics and Engineering NAS Ukraine
Kharkov, Ukraine
E-mail: fmende@mail.ru
A.S. ДУБРОВИН,
Doctor of Techn. Sciences, Professor
E-mail: asd_kiziltash@mail.ru
FKOU VPO Voronezh Institute of Russian Federal
Penitentiary Service
Voronezh, Russian Federation

ON THE PHYSICAL MECHANISM OF FORMATION OF ELECTRIC INDUCTION FIELD

Near a conductor through which current flows, induction electric fields are formed, these fields are formed only in the case where the conductor is attached to the potential difference there, and charges are accelerated. But, unfortunately, the physics of the process is not yet clear. In this paper, based on the concept of a scalar-vector potential reveals the physical mechanism of induction fields.

Key words:

Введение

Вблизи проводника, по которому течет ток, образуются электрические поля индукции, эти поля образуются только в том случае, когда к проводнику приложена разность потенциалов и заряды в нем ускоряются. Но, к сожалению, физика этого процесса пока не ясна. На наш взгляд, причина такого положения вещей состоит в несовершенстве самих уравнений Максвелла. Показательна цитата из [1]: «в чем же заключается основная исходная причина противоречивости построенной Максвеллом электродинамики? Для однозначного ответа на этот вопрос... следует отметить, что еще в свое время Ампер, Гроссман, Гаусс, Ленц, Нейман, Вебер, Риман и др. стояли на точке зрения, что, не обращаясь к понятию «магнитного поля», любые магнитные взаимодействия можно свести к обычным взаимодействиям токовых элементов или движущихся зарядов... в электродинамике возобладала тогда точка зрения Фарадея и Максвелла, что электрические и «магнитные» поля являются самостоятельными физическими сущностями, хотя и связанными между собой. В сложившейся тогда исторической обстановке данные, ошибочные с физической точки зрения, допущения предопределили собой весь дальнейший ход развития электродинамики с заведомо заложенными в нее неразрешимыми противоречиями и парадоксами». И далее там же: «для непротиворечивого отражения физической сущности законов электромагнетизма необходимо полностью отказаться от любых понятий «магнитного поля» как некой самостоятельной физической сущности... для определения сил взаимодействия движущихся в физическом вакууме реального пространства электрических зарядов вполне достаточно учесть деформацию электрических полей этих зарядов, обусловленную тривиальными эффектами запаздывающих потенциалов... Остается только удивляться прозорливости Ампера, который предупреждал, что если в электродинамике не отказаться от понятия «магнит», то в дальнейшем это грозит неимоверной путаницей в теории».

В классической нерелятивистской электродинамике отсутствуют преобразования электромагнитных полей при переходе из одной инерционной системы отсчета (ИСО) в другую. Этот недостаток устраняет специальная теория относительности (СТО), заменяя преобразования Галилея преобразованиями Лоренца, физическая сущность которых при всей математической обоснованности не выяснена [2]. Однако специалистами (прежде всего, экспериментаторами) было обнаружено, что классическая электродинамика и СТО, вопреки

уже более 100-летнему мифу, находятся в contradикции друг к другу [3, 4]. Современные же опыты по измерению скорости света в одном направлении (а не усредненной скорости «туда и обратно», как, например, в экспериментах Физо и им аналогичных) [5] противоречат постулату СТО о постоянстве скорости света и ставят под сомнение физическую обоснованность преобразований Лоренца.

Концепция скалярно-векторного потенциала

Поля и их потенциалы, которые создаются в данной инерциальной системе отсчета (ИСО) движущимися зарядами и движущимися источниками электромагнитных волн, будем называть динамическими. Примером динамического поля может служить магнитное поле, которое возникает вокруг движущихся зарядов.

Первым шагом в направлении нахождения физически обоснованных путей получения преобразований полей и определения динамических потенциалов явилось введение симметричных законов магнитоэлектрической и электромагнитной индукции [6, 7]. Они получены в рамках преобразований Галилея с использованием в уравнениях индукции субстанциональной производной и записываются следующим образом [8...12]:

$$\oint \mathbf{E}' d\mathbf{l}' = -\int \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} d\mathbf{s} + \oint [\mathbf{v} \times \mathbf{B}] d\mathbf{l}' \quad (2.1)$$

$$\oint \mathbf{H}' d\mathbf{l}' = \int \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} d\mathbf{s} - \oint [\mathbf{v} \times \mathbf{D}] d\mathbf{l}',$$

или

$$\text{rot } \mathbf{E}' = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} + \text{rot} [\mathbf{v} \times \mathbf{B}] \quad (2.2)$$

$$\text{rot } \mathbf{H}' = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} - \text{rot} [\mathbf{v} \times \mathbf{D}].$$

Для постоянных полей преобразования (2.2) имеют вид:

$$\mathbf{E}' = [\mathbf{v} \times \mathbf{B}] \quad (2.3)$$

$$\mathbf{H}' = -[\mathbf{v} \times \mathbf{D}].$$

В соотношениях (2.1)...(2.3) штрихованные и не штрихованные величины представляют поля и элементы в движущейся и неподвижной ИСО соответственно. Ранее преобразования (2.3) выводились только из преобразований Лоренца.

Законы индукции (2.1)...(2.3) не указывают причину возникновения полей в исходной неподвижной ИСО, а описывают только распространение полей и их преобразования при переходе к другим ИСО. Соотношения (2.3) свидетельствуют о наличии перекрестной связи между полями \mathbf{E} и \mathbf{H} при относительном движении систем отсчета, т.е.

движение в полях \mathbf{H} приводит к появлению полей \mathbf{E} и наоборот. Следствия из (2.3) впервые рассмотрены в [13]. Если параллельно оси заряженного с погонным зарядом g стержня в его электрическом поле $E = \frac{g}{2\pi\epsilon r}$ (r – расстояние от оси стержня до точки наблюдения) движется ИСО со скоростью Δv , то в ней появится дополнительное магнитное поле $\Delta H = \epsilon E \Delta v$. Если вторая ИСО движется относительно первой со скоростью Δv , то уже за счет движения в поле ΔH появится добавка к электрическому полю $\Delta E = \mu \epsilon E (\Delta v)^2$. В результате дальнейшего продолжения процесса получается ряд, дающий величину электрического поля $E'_v(r)$ в движущейся ИСО при достижении скорости $v = n\Delta v$, когда $\Delta v \rightarrow 0$, а $n \rightarrow \infty$. В конечном итоге, в движущейся ИСО величина динамического электрического поля окажется больше, чем в исходной и определится соотношением:

$$E'(r, v) = \frac{g \operatorname{ch} \frac{v}{c}}{2\pi\epsilon r} = E \operatorname{ch} \frac{v}{c}.$$

Создаваемое движущимся точечным зарядом e поперечное электрическое поле (здесь и далее это есть та составляющая электрического поля заряда, напряженность которой направлена нормально скорости заряда в той же плоскости, в которой лежит вектор, соединяющий движущийся заряд и точку наблюдения) примет вид:

$$E'(r, v) = \frac{e \operatorname{ch} \frac{v}{c}}{4\pi\epsilon r^2},$$

где v – величина скорости заряда.

Создаваемое тем же зарядом продольное электрическое поле (здесь и далее это есть та составляющая электрического поля заряда, напряженность которой коллинеарна скорости заряда) от скорости заряда не зависит.

Скалярный потенциал поперечного электрического поля имеет вид:

$$\varphi'(r, v) = \frac{e \operatorname{ch} \frac{v}{c}}{4\pi\epsilon r} = \varphi(r) \operatorname{ch} \frac{v}{c}, \quad (2.4)$$

где $\varphi(r)$ – скалярный потенциал неподвижного заряда. Потенциал $\varphi'(r, v)$ может быть назван скалярно-векторным, т.к. он зависит не только от абсолютной величины заряда, но и от направления и абсолютной величины скорости его движения относительно точки наблюдения. Скалярный потенциал создаваемого тем же зарядом продольного электрического поля от скорости заряда не зависит. Могут быть вычислены также электрические поля, индуцируемые ускоренно движущимся зарядом.

Такой же результат для заряженного стержня можно получить другим способом. Запишем формулы взаимной индукции полей в подвижной системе отсчета:

$$dH' = \epsilon E' dv, \quad (2.5)$$

$$dE' = \mu H' dv \quad (2.6)$$

или, иначе,

$$\frac{dH'}{dv} = \epsilon E' \quad (2.7)$$

$$\frac{dE'}{dv} = \mu H', \quad (2.8)$$

где (2.7) соответствует (2.5), а (2.8) соответствует (2.6).

Разделив уравнения (2.7) и (2.8) на E , получим соответственно:

$$\frac{d(H'/E)}{dv} = \epsilon \frac{E'}{E}, \quad (2.9)$$

$$\frac{d(E'/E)}{dv} = \mu \frac{H'}{E}. \quad (2.10)$$

Продифференцировав обе части (2.10), имеем:

$$\frac{d^2(E'/E)}{dv^2} = \mu \frac{d(H'/E)}{dv}. \quad (2.11)$$

Подставив (2.9) в (2.11), получим:

$$\frac{d^2(E'/E)}{dv^2} = \mu \epsilon \frac{E'}{E}. \quad (2.12)$$

Общим решением дифференциального уравнения (2.12) является функция

$$\frac{E'}{E} = C_2 \operatorname{ch} \left(\frac{v}{c} \right) + C_1 \operatorname{sh} \left(\frac{v}{c} \right), \quad (2.13)$$

где C_1, C_2 – произвольные постоянные.

Так как при $v = 0$ должно быть выполнено $E' = E$, то из (2.13) получим:

$$\frac{E'}{E} = \operatorname{ch} \left(\frac{v}{c} \right) + C_1 \operatorname{sh} \left(\frac{v}{c} \right).$$

Выбирая $C_1 = 0$, имеем:

$$E' = E \operatorname{ch} \left(\frac{v}{c} \right).$$

Если применить полученные результаты к электромагнитной волне и обозначить компоненты полей, параллельные скорости ИСО, как E_{\uparrow} и H_{\uparrow} , а E_{\perp} и H_{\perp} , как компоненты, нормальные к ней, то преобразование полей запишутся [13]:

$$\begin{aligned} \mathbf{E}'_{\uparrow} &= \mathbf{E}_{\uparrow}, \\ \mathbf{E}'_{\perp} &= \mathbf{E}_{\perp} \operatorname{ch} \frac{v}{c} + \frac{Z_0}{v} [\mathbf{v} \times \mathbf{H}_{\perp}] \operatorname{sh} \frac{v}{c}, \\ \mathbf{H}'_{\uparrow} &= \mathbf{H}_{\uparrow}, \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$\mathbf{H}'_{\perp} = \mathbf{H}_{\perp} \operatorname{ch} \frac{v}{c} - \frac{1}{vZ_0} [\mathbf{v} \times \mathbf{E}_{\perp}] \operatorname{sh} \frac{v}{c},$$

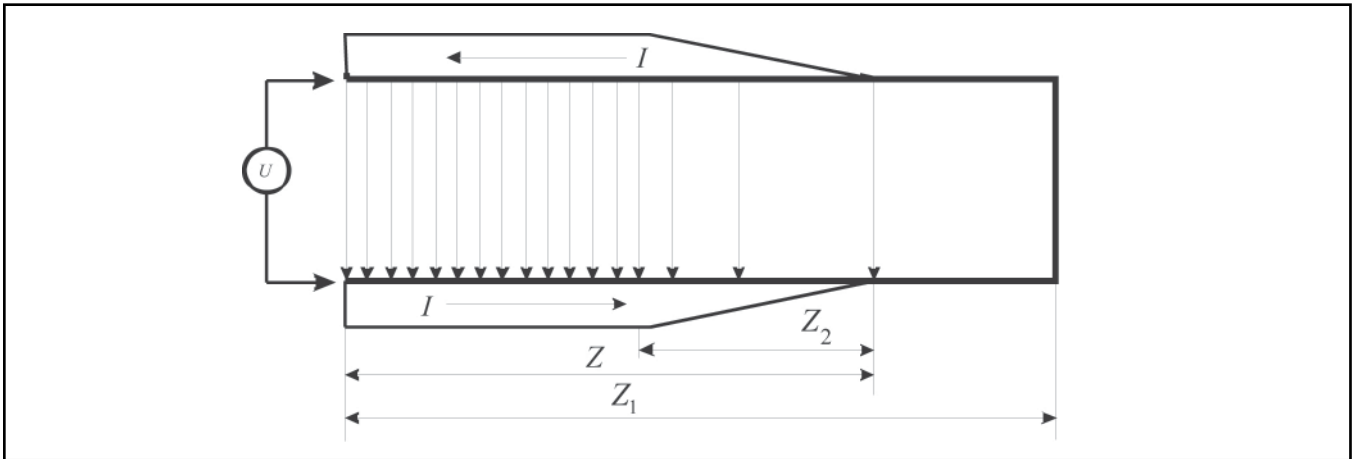


Рис. 1. Диаграмма распространения напряжения и тока в отрезке длинной линии

где $Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$ – импеданс свободного пространства;

$c = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}}$ – скорость света.

Преобразования (2.14) обычно называют преобразованиями Менде [14]. Строгое математическое обоснование они получили в [14] в рамках транскоординатной формулировки уравнений Максвелла [15], обобщающей традиционную формулировку Герца-Хевисайда в направлении более адекватного перехода от одной ИСО к другой за счет совершенствования математического аппарата дифференциального исчисления полевых функций в рамках гиперконтинуальных представлений о пространстве и времени [16], обобщающих релятивистские представления.

Формирование электрических полей индукции

Данная концепция позволяет получить законы электро-электрической индукции для волнового процесса не только в свободном пространстве, но и в длинной линии.

Рассмотрим процесс распространения напряжения и тока в длинной линии (рис. 1). Напряжение на входе линии вырастает от нуля до своего номинального значения за время переходного процесса $t = \frac{z_2}{c}$, где z_2 – длина фронта волны, т.е. переходного

участка, к которому приложено напряжение источника питания и на котором заряды ускоряются от нулевой скорости до значений, необходимых для создания номинального тока в линии.

Это время зависит от закона роста напряжения на входе линии после подключения к ней источника напряжения. Реально он может быть любым, но для простоты примем его линейным. Тогда за время Δt (в линии этот переходный процесс займет участок $z_1 = c\Delta t$) напряжение возрастает от нуля (правее участка z_1) до максимального окончательного значения U , а скорость зарядов – от нуля до

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}},$$

где e и m – заряд и масса носителей тока.

Скорость носителей тока на участке z_1 зависит от координаты (рис. 2):

$$v^2(z) = \frac{2e}{m} \frac{\partial U}{\partial z} z = \frac{2e}{m} E_z z,$$

где $E_z = \frac{\partial U}{\partial z} = \frac{U}{z_2}$ – напряженность поля, ускоряющая заряды на участке z_1 .

Скалярный потенциал $\phi(z)$ и напряженность E'_z поля на расстоянии r от линии запишем, используя лишь первые два члена разложения гиперболического косинуса в ряд (штрих здесь означает движение поля вдоль проводника линии со скоростью света):

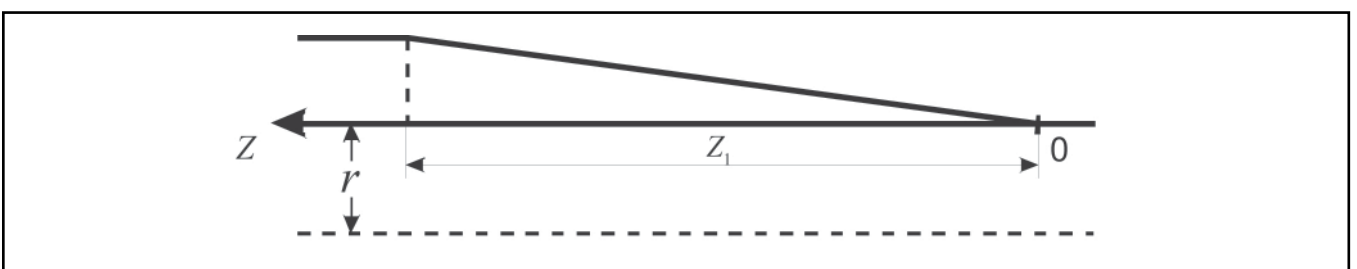


Рис. 2. Фронт волны тока, распространяющейся в длинной линии

$$\varphi(z) = \frac{e}{4\pi \varepsilon_0 r} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2(z)}{c^2} \right) = \frac{e}{4\pi \varepsilon_0 r} \left(1 + \frac{eE_z z}{mc^2} \right),$$

$$E'_z = -\frac{\partial \varphi(z)}{\partial z} = -\frac{e^2 E_z}{4\pi \varepsilon_0 r m c^2} = -\frac{e a_z}{4\pi \varepsilon_0 r c^2},$$

где $a_z = \frac{eE_z}{m}$ – ускорение, испытываемое зарядом e в поле E'_z .

Таким образом, заряды, ускоряемые в отрезке линии z_1 , индуцируют на расстоянии r от этого участка электрическое поле. Направление индуцированного поля и индукционных токов обратно индуцирующим полям и токам. Полученный закон электро-электрической индукции призван сменить закон Фарадея как основной закон индукции, т.к. минуя поля-посредники (магнитное поле или векторный потенциал) устанавливает причину появления индукционных электрических полей вокруг движущегося заряда и дает прямой ответ о месте приложения сил взаимодействия между зарядами.

Равенство (4) можно записать с использованием векторного потенциала A_H :

$$E'_z = -\frac{e}{4\pi \varepsilon_0 r c^2} \frac{\partial v_z}{\partial t} = -\mu \frac{\partial A_H}{\partial t},$$

откуда, интегрируя по времени, получаем известное определение векторного потенциала:

$$A_H = \frac{e v_z}{4\pi r}.$$

Векторный потенциал и магнитное поле – это полезный математический прием решения ряда электродинамических задач, однако первооснова – скалярно-векторный потенциал.

Заключение

Вблизи проводника, по которому течет ток, образуются электрические поля индукции, эти поля образуются только в том случае, когда к проводнику приложена разность потенциалов и заряды в нем ускорятся. Но, к сожалению, физика этого процесса пока не ясна. В работе на основе концепции скалярно-векторного потенциала раскрывается физический механизм образования полей индукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

1. Николаев Г.В. *Современная электродинамика и причины ее парадоксальности: издание 2-е, дополненное*. Томск: Изд-во научно-технической литературы, 2003. 177 с. [Nicolaev G.V. *Modern electrodynamics and the reasons for its paradoxical nature: 2nd ed.* Tomsk: Publishing house of the

scientific and technical literature, 2003. 177 p.] (in Russian).

2. Рашевский П.К. *Риманова геометрия и тензорный анализ*. М.: Наука, 1967 [Rashevskiy P.K. *Riemann geometry and tensor analysis*. Moscow: Publishing House «Sciences», 1967] (in Russian).
3. Gomori M., Szabo L.E. *Is the relativity principle consistent with classical electrodynamics? Towards a logico-empiricist reconstruction of a physical theory*. Budapest: Institute of Philosophy, Department of Logic. Preprint (v5) of 4 April 2011. 39 p.
4. Bertocci U., Capria M.M. *Am. J. Phys.* **59** (11), November 1991. Pp. 1030...1032.
5. Маринов С. Экспериментальные нарушения принципов относительности, эквивалентности и сохранения энергии // *Физическая мысль России*. 1995. № 2. С. 52...77 [Marinov S. The experimental relativity violations of the principles of equivalence and conservation of energy. *Physical thought of Russia*. 1995. № 2. Pp. 52...77] (in Russian).
6. Менде Ф.Ф. *Существуют ли ошибки в современной физике*. Харьков: Константа, 2003 [Mende F.F. *Are there errors in modern physics*. Kharkov: Publishing House «Konstanta», 2003] (in Russian).
7. Менде Ф.Ф. *Великие заблуждения и ошибки физиков XIX-XX столетий. Революция в современной физике*. Харьков, НТМТ, 2010 [Mende F.F. *The great confusion and error physicists XIX-XX centuries. The revolution in modern physics*. Kharkov: Publishing House «NTMT», 2010] (in Russian).
8. Mende F.F. What is Not Taken into Account and they Did Not Notice Ampere, Faraday, Maxwell, Heaviside and Hertz. *AASCIT Journal of Physics*. 2015. Vol. 1. No. 1, Pp. 28...52.
9. Менде Ф.Ф. Новые подходы в современной классической электродинамике. Часть II // *Инженерная физика*. 2013. № 2. С. 3...17 [Mende F.F. New approaches in modern classical electrodynamics. Part II. *Engineering Physics*. 2013. № 2. Pp. 3...17] (in Russian).
10. Mende F.F. Concept of Scalar-Vector Potential in the Contemporary Electrodynamics, Problem of Homopolar Induction and Its Solution. *International Journal of Physics*. 2014. Vol. 2. No. 6. Pp. 202...210. URL: <http://pubs.sciepub.com/ijp/2/6/4>
11. Mende F.F. Consideration and the Refinement of Some Laws and Concepts of Classical Electrodynamics and New Ideas in Modern Electrodynamics. *International Journal of Physics*. 2014. Vol. 2. No. 8. Pp. 231...263. URL: <http://pubs.sciepub.com/ijp/2/6/8>

12. Mende F.F. Concept of Scalar-Vector Potential and Its Experimental Confirmation. *AASCIT Journal of Physics*. 2015. Vol. 1. No. 3. Pp. 135...148. URL: <http://www.aascit.org/journal/archive2?journalId=977&paperId=2176>
13. Менде Ф.Ф. К вопросу об уточнении уравнений электромагнитной индукции. Харьков, депонирована в ВИНТИ, №774-B88 Деп., 1988, 32 с. [Mende F.F. *The question of improving eletromagnitnoy induction equations*. Kharkiv, deposited at VINITI, № 774-B88 Dep., 1988, 32 p.] (in Russian).
14. Дубровин А.С. Преобразования Менде в транскоординатной электродинамике // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 12. С. 1006...1012 [Dubrovin A.S. Conversion Mende transkoordinatnoy electrodynamics. *International Journal of Applied and Basic Research*. 2015. № 12. Pp. 1006...1012] (in Russian).
15. Дубровин А.С. Транскоординатная электродинамика в пространственно-временном гиперконтинууме // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 12. С. 34...41 [Dubrovin A.S. Transkoordinatnaya electrodynamics in the space-time giperkontinuume. *International Journal of Applied and Basic Research*. 2015. № 12. Pp. 34...41] (in Russian).
16. Дубровин А.С. Алгебраические свойства функций одномерных синусоидальных волн и пространство-время // *Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Физика. Математика*. 2013. № 1. С. 5...19 [Dubrovin A.S. Algebraic properties of functions of one-dimensional sine waves and space-time. *Bulletin of Voronezh State University. Ser. Physics. Mathematics*. 2013. № 1. Pp. 5...19] (in Russian).

Сведения об авторах

Менде Федор Федорович, доктор техн. наук, директор

E-mail: fmende@mail.ru

НИИ Криогенного приборостроения Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина НАН Украины

61103, Украина, Харьков, пр. Ленина, 47

Дубровин Анатолий Станиславович, доктор техн. наук, акад. Российской Академии Естествознания, профессор кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем факультета внебюджетного образования ФКОУ ВПО Воронежский институт ФСИН России

394072, г. Воронеж, Российская Федерация, ул. Иркутская 1-а

E-mail: asd_kiziltash@mail.ru

Information about authors

Mende Fedor F., Doctor of Techn. Sciences, Director

E-mail: fmende@mail.ru

Research institute for cryogenic instrument engineering B.I. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering NAS Ukraine

61103, Kharkov, Ukraine, Lenin Ave., 47

Dubrovin Anatoliy S., Doctor of Techn. Sciences, Professor

FKOU VPO Voronezh Institute of Russian Federal Penitentiary Service

394072, Voronezh, Russian Federation, Irkutskaya str., 1-a

E-mail: asd_kiziltash@mail.ru