

Д. Г. Артёмов, В. С. Пименов, В. Е. Пониматкин  
А. А. Шпилевой, А. А. Горбачёв

## О ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩЕЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ

Поступила в редакцию 03.03.2021 г.

Рецензия от 15.03.2021 г.

70

Рассматриваются пути усовершенствования антенно-фидерных устройств с целью улучшения их массогабаритных характеристик, что наиболее важно в целях обеспечения связи с удаленными подвижными объектами. Придание определенной конфигурации антенным вибраторам при одновременном использовании нескольких компланарных линий и обеспечении совместной работы нескольких антенных излучателей позволяет значительно сократить общий размер конструкции при обеспечении высокой отдачи мощности. Построение радиочастотного модуля по многоканальной схеме дает возможность увеличить область рабочих частот на необходимую ширину диапазона, используемого в системах связи.

*The paper considers ways to improve antenna-feeder devices in order to improve their weight and size characteristics, which is most important in order to ensure communication with remote mobile objects. Giving a certain configuration to the antenna vibrators while using several coplanar lines and ensuring the joint operation of several antenna emitters allows you to significantly reduce the overall size of the structure while ensuring high power output. The construction of a radio frequency module according to a multi-channel scheme makes it possible to increase the range of operating frequencies by the required width of the range used in communication systems.*

**Ключевые слова:** антенно-фидерное устройство, диаграмма направленности, рабочий диапазон частот, приемопередающий модуль, ортогональное размещение вибраторов

**Keywords:** antenna-feeder device, radiation pattern, operating frequency range, transceiver module, orthogonal placement of vibrators

Недостатком значительной части антенно-фидерных устройств, используемых в настоящее время в системах связи, является ограниченный диапазон рабочих частот, значительная масса и габариты [1], что имеет принципиальное значение при размещении конструкции на подвижном объекте. Резонансная частота  $f_0$ , характеризующая режим собственной длины волны антенны, связана с длиной ее плеча  $\ell$  соотношением  $4 \cdot \ell = C / f_0$ , где  $C$  — скорость света ( $3 \cdot 10^8$  м/с). При уменьшении физических размеров антенны возрастают реактивные составляющие ее эквивалентного сопротивления [2], что ведет к существенному снижению КПД антенно-фидерного тракта.



Значительного сокращения размеров антенной системы можно добиться при одновременном использовании нескольких компланарных линий [3], а повышения излучаемой при этом мощности – за счет обеспечения совместной работы нескольких антенных излучателей [4].

Далее рассмотрим разработку, выполненную на основе группы компланарных линий, обеспечивающих оптимальные частотные и массогабаритные характеристики конструкции. Предлагаемая система состоит из  $N$  приемопередающих модулей (начиная с первого модуля  $1_1$  по модуль  $1_N$ ), согласующего устройства 2 и системы фильтров 3 (рис. 1). Первый радиоприемный блок 4 и первый радиопередающий блок 5 рассчитаны на рабочий диапазон 100–200 МГц, второй радиоприемный блок 6 и второй радиопередающий блок 7 – на рабочий диапазон 200–400 МГц, третий радиоприемный блок 8 и третий радиопередающий блок 9 – на рабочий диапазон от 400–800 МГц, четвертый радиоприемный блок 10 и четвертый радиопередающий блок 11 – на рабочий диапазон 800–1000 МГц, пятый радиоприемный блок 12 и пятый радиопередающий блок 13 – на рабочий диапазон 1000–2000 МГц, шестой радиоприемный блок 14 и шестой радиопередающий блок 15 – на рабочий диапазон 3000–5000 МГц, седьмой радиоприемный блок 16 и седьмой радиопередающий блок 17 – на рабочий диапазон 5000–8000 МГц, восьмой радиоприемный блок 18 и восьмой радиопередающий блок 19 – на рабочий диапазон 8000–9000 МГц, девятый радиоприемный блок 20 и девятый радиопередающий блок 21 – на рабочий диапазон 9000–10000 МГц. Таким образом, комплект радиочастотных блоков обеспечивает функционирование устройства во всем диапазоне частот, используемом для различных видов связи на водном транспорте (100–10000 МГц) [4].

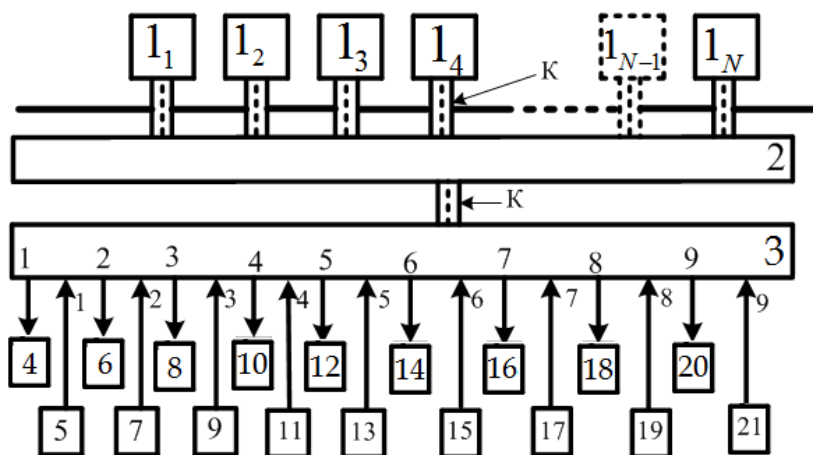


Рис. 1. Общая структурная схема устройства

При этом  $N$  приемопередающих модулей соединяются коаксиальным кабелем через согласующее устройство 2 с системой фильтров 3 [5]. Первый выход системы фильтров соединен с входом первого ра-

диоприемного блока 4, а первый вход системы фильтров 3 — с выходом первого радиопередающего блока 5, рассчитанного на рабочий диапазон 100–200 МГц. Второй выход системы фильтров 3 соединен с входом второго радиоприемного блока 6, а второй вход системы фильтров 3 — с выходом второго радиопередающего блока 7, рассчитанного на рабочий диапазон 200–400 МГц. Третий выход системы фильтров 3 соединен с входом третьего радиоприемного блока 8, а третий вход системы фильтров 3 — с выходом третьего радиопередающего блока 9, рассчитанного на рабочий диапазон 400–800 МГц. Четвертый выход системы фильтров 3 соединен с входом четвертого радиоприемного блока 10, а четвертый вход системы фильтров 3 — с выходом четвертого радиопередающего блока 11, рассчитанного на рабочий диапазон 800–1000 МГц. Пятый выход системы фильтров 3 соединен с входом пятого радиоприемного блока 12, а пятый вход системы фильтров 3 — с выходом пятого радиопередающего блока 13, рассчитанного на рабочий диапазон 1000–2000 МГц. Шестой выход системы фильтров 3 соединен с входом шестого радиоприемного блока 14, а шестой вход системы фильтров 3 — с выходом шестого радиопередающего блока 15, рассчитанного на рабочий диапазон 3000–5000 МГц. Седьмой выход системы фильтров 3 соединен с входом седьмого радиоприемного блока 16, а седьмой вход системы фильтров 3 — с выходом седьмого радиопередающего блока 17, рассчитанного на рабочий диапазон 5000–8000 МГц. Восьмой выход системы фильтров 3 соединен с входом восьмого радиоприемного блока 18, а восьмой вход системы фильтров 3 — с выходом восьмого радиопередающего блока 19, рассчитанного на рабочий диапазон 8000–9000 МГц. Девятый выход системы фильтров 3 соединен с входом девятого радиоприемного блока 20, а девятый вход системы фильтров 3 — с выходом девятого радиопередающего блока 21, рассчитанного на рабочий диапазон 9000–10000 МГц.

На рисунке 2 представлена схема согласующего устройства, содержащего трансформатор Тр.1, состоящий из первичной обмотки *I* и вторичной обмотки *II*, включающей *N* обмоток.

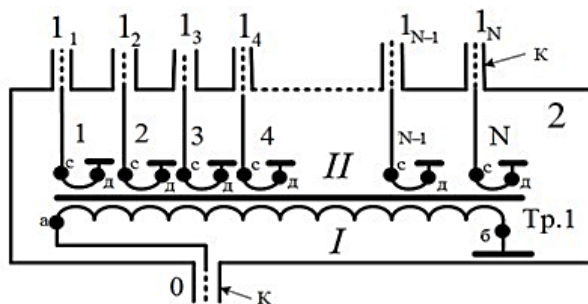


Рис. 2. Схема согласующего устройства

При этом первый приемопередающий модуль  $1_1$  коаксиальным кабелем К соединен с клеммой «с» первой вторичной обмотки трансфор-



матора Тр.1, а клемма «д» этой первой вторичной обмотки трансформатора Тр.1 заземлена; второй приемопередающий модуль  $1_2$  коаксиальным кабелем К соединен с клеммой «с» второй вторичной обмотки трансформатора Тр.1, а клемма «д» этой второй вторичной обмотки трансформатора Тр.1 заземлена; третий приемопередающий модуль  $1_3$  коаксиальным кабелем К соединен с клеммой «с» третьей вторичной обмотки трансформатора Тр.1, а клемма «д» этой третьей вторичной обмотки трансформатора Тр.1 заземлена; четвертый приемопередающий модуль  $1_4$  коаксиальным кабелем К соединен с клеммой «с» четвертой вторичной обмотки трансформатора Тр.1, а клемма «д» этой четвертой вторичной обмотки трансформатора Тр.1 заземлена; N-1 приемопередающий модуль  $1_{N-1}$  коаксиальным кабелем К соединен с клеммой «с» N-1 вторичной обмотки трансформатора Тр.1, а клемма «д» этой обмотки трансформатора Тр.1 заземлена; приемопередающий модуль  $1_N$  коаксиальным кабелем К соединен с клеммой «с» N вторичной обмотки трансформатора Тр.1, а клемма «д» этой N вторичной обмотки трансформатора Тр.1 заземлена; клемма «а» первичной обмотки I трансформатора Тр.1 соединена с коаксиальным кабелем К входа-выхода «0» согласующего устройства 2, а клемма «б» первичной обмотки I трансформатора Тр.1 заземлена.

На рисунке 3 изображена структурная схема фильтрующей системы 3, которая включает согласующий трансформатор Тр.1 с одной первичной обмоткой и девятью вторичными, а также девять фильтров — с первого  $\Phi_1$  по девятый  $\Phi_9$ . При этом коаксиальный кабель К входа-выхода «0» соединен с клеммой «б» первичной обмотки трансформатора Тр.1, а клемма «а» этой первичной обмотки трансформатора Тр.1 заземлена. Первая вторичная обмотка 1 трансформатора Тр.1 клеммой « $u_1$ » заземлена, а клеммой « $b_1$ » соединена через первый выход первого фильтра  $\Phi_1$  с первым выходом системы фильтров 3, а второй вход системы фильтров 3 соединен со вторым входом первого фильтра  $\Phi_1$ .

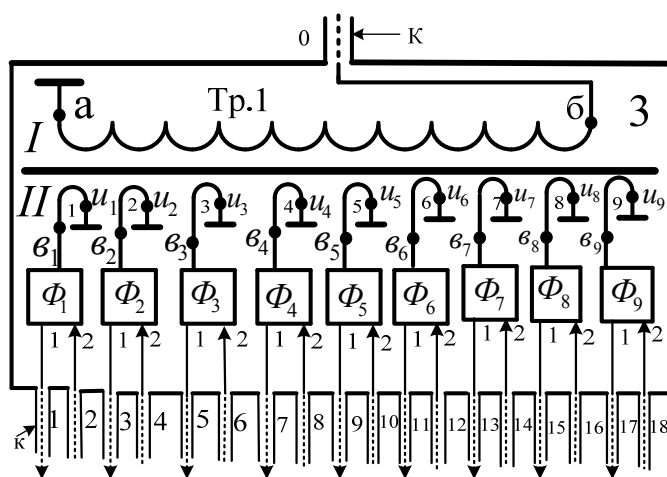


Рис. 3. Схема фильтрующей системы устройства



Вторая вторичная обмотка 2 трансформатора Тр.1 клеммой « $u_2$ » заземлена, а клеммой « $\beta_2$ » соединена через первый выход второго фильтра  $\Phi_2$  с третьим выходом системы фильтров 3, а четвертый вход блока фильтров 3 соединен со вторым входом второго фильтра  $\Phi_2$ . Третья вторичная обмотка 3 трансформатора Тр.1 клеммой « $u_3$ » заземлена, а клеммой « $\beta_3$ » соединена через первый выход третьего фильтра  $\Phi_3$  с пятым выходом системы фильтров 3, а шестой вход системы фильтров 3 соединен со вторым входом третьего фильтра  $\Phi_3$ . Четвертая вторичная обмотка 4 трансформатора Тр.1 клеммой « $u_4$ » заземлена, а клеммой « $\beta_4$ » соединена через первый выход четвертого фильтра  $\Phi_4$  с седьмым выходом системы фильтров 3, а восьмой вход системы фильтров 3 соединен со вторым входом четвертого фильтра  $\Phi_4$ . Пятая вторичная обмотка 5 трансформатора Тр.1 клеммой « $u_5$ » заземлена, а клеммой « $\beta_5$ » соединена через первый выход пятого фильтра  $\Phi_5$  с девятым выходом системы фильтров 3, а десятый вход системы фильтров 3 соединен со вторым входом пятого фильтра  $\Phi_5$ . Шестая вторичная обмотка 6 трансформатора Тр.1 клеммой « $u_6$ » заземлена, а клеммой « $\beta_6$ » соединена через первый выход шестого фильтра  $\Phi_6$  с одиннадцатым выходом блока фильтров 3, а двенадцатый вход блока фильтров 3 соединен со вторым входом шестого фильтра  $\Phi_6$ . Седьмая вторичная обмотка 7 трансформатора Тр.1 клеммой « $u_7$ » заземлена, а клеммой « $\beta_7$ » соединена через первый выход седьмого фильтра  $\Phi_7$  с тринадцатым выходом системы фильтров 3, а четырнадцатый вход блока фильтров 3 соединен со вторым входом седьмого фильтра  $\Phi_7$ . Восьмая вторичная обмотка 8 трансформатора Тр.1 клеммой « $u_8$ » заземлена, а клеммой « $\beta_8$ » соединяется через первый выход восьмого фильтра  $\Phi_8$  с пятнадцатым выходом системы фильтров 3, а шестнадцатый вход системы фильтров 3 соединен со вторым входом восьмого фильтра  $\Phi_8$ . Девятая вторичная обмотка 9 трансформатора Тр.1 клеммой « $u_9$ » заземлена, а клеммой « $\beta_9$ » соединена через первый выход девятого фильтра  $\Phi_9$  с семнадцатым выходом системы фильтров 3, а восемнадцатый вход системы фильтров 3 соединен со вторым входом девятого фильтра  $\Phi_9$ .

На рисунке 4 представлен антенный модуль, содержащий совместно используемые симметричные вибраторные антенны, ортогонально расположенные в пространстве друг относительно друга. Первый симметричный вибратор характеризуется синфазными токами в плечах  $I_A^I = I_A^I$ , а второй симметричный вибратор — противофазными токами  $I_A^I \neq I_A^I$  в плечах.

При этом левое плечо первого симметричного вибратора в верхней его части соединено клеммой « $P_{II}^1$ » с центральной жилой 1 коаксиального кабеля питания антенны 2, а правое плечо первого симметричного вибратора в верхней его части соединено клеммой « $P_{II}^1$ » с экранной оболочкой коаксиального кабеля питания антенны 2. Левое плечо второго симметричного вибратора в верхней его части соединено клеммой « $P_{II}^2$ » с центральной жилой 1 коаксиального кабеля питания антенны 2.



Правое плечо второго симметричного вибратора в верхней его части соединено клеммой « $P_{\Pi}^2$ » с центральной жилой 1 коаксиального кабеля питания антенны 2. Правое плечо первого симметричного вибратора в нижней его части соединено клеммой « $A_{\Pi}^1$ » с клеммой « $C_{\Pi}$ » центральной жилы 1 коаксиального кабеля питания антенны 2. Левое плечо первого симметричного вибратора в нижней его части соединено клеммой « $A_{\Pi}^1$ » с клеммой « $C_{\Pi}$ » экранной оболочки коаксиального кабеля питания антенны 2. Правое плечо второго симметричного вибратора в нижней его части соединено клеммой « $A_{\Pi}^2$ » с клеммой « $C_{\Pi}$ » экранной оболочки коаксиального кабеля питания антенны 2. Левое плечо второго симметричного вибратора в нижней его части соединено клеммой « $A_{\Pi}^2$ » с клеммой « $C_{\Pi}$ » экранной оболочки коаксиального кабеля питания антенны. На рисунке 5 изображено геометрическое расположение элементов антенного модуля с ортогональным размещением симметричных вибраторов, отображенных на рисунке 4.

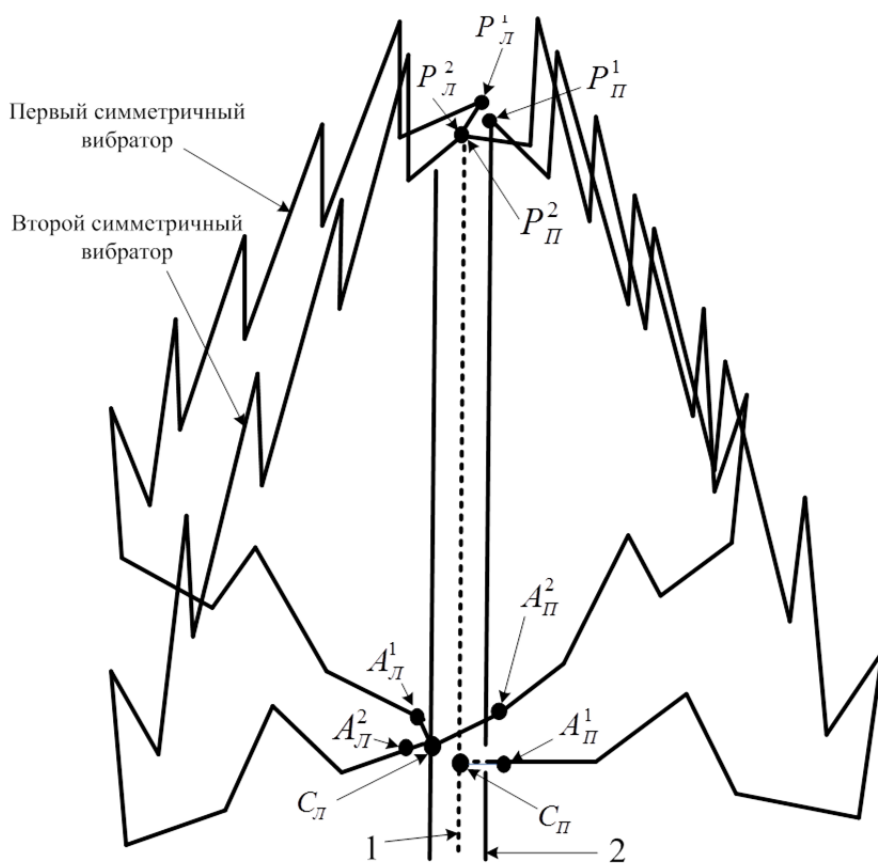


Рис. 4. Геометрическая структура антенного модуля

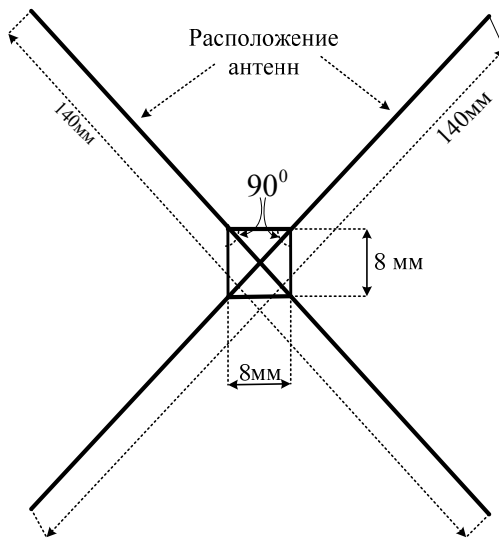


Рис. 5. Схема взаимного расположения элементов антенного модуля

Направленные свойства симметричных вибраторов с противофазными и синфазными токами в правом  $I_A^I$  и левом  $I_A^I$  плечах характеризуются диаграммами направленности, показанными на рисунке 6. Угол  $\theta^0$  максимума излучения зависит от высоты установки антенны [6; 7]. Диаграмма направленности антенного модуля с ортогональным размещением двух симметричных вибраторов, отображенных на рисунке 5, представлена на рисунке 7. Как видим, ее конфигурация объединяет достоинства синфазного и противофазного элементов.

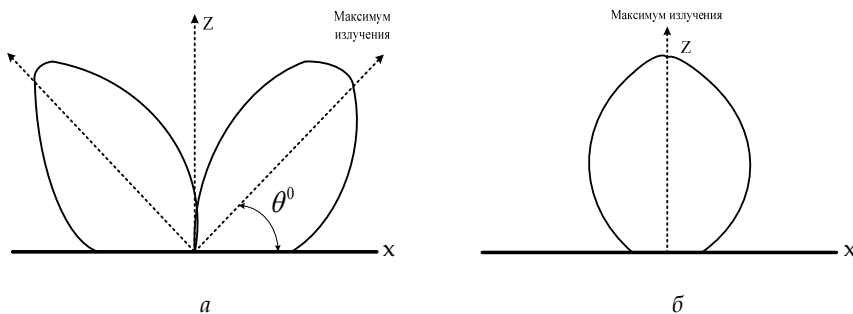


Рис. 6. Диаграмма направленности антенной системы из симметричных вибраторов:  
а — при синфазных токах; б — при противофазных токах

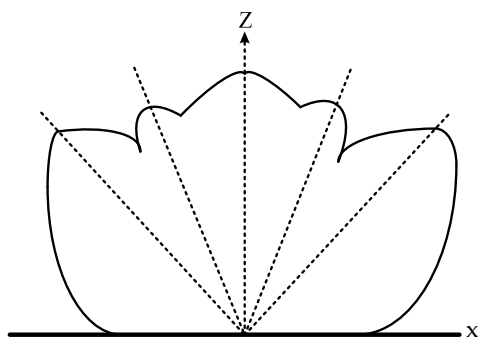


Рис. 7. Диаграмма направленности предлагаемого антенного модуля

При этом очевидно, что антенный модуль обеспечивает практически равномерное усиление в пространстве, причем коэффициент усиления в любом направлении превышает 10, что делает конструкцию пригодной для работы в широком диапазоне частот (100–10000 МГц) на различных по назначению объектах.

Основание по количеству антенных модулей с одновременным их размещением можно увеличивать, при этом коэффициент усиления антенного модуля в заданном направлении излучения радиолиний может быть повышен, что позволит уменьшить число антенных модулей. Антенная система характеризуется высокими массогабаритными свойствами — имеет малые размеры (140×154 мм) и массу, что делает ее удобной для размещения на подвижных объектах, в частности на водном транспорте.

#### Список литературы

1. Гончаренко И.В. Антенны КВ и УКВ : в 2 ч. Ч. 2 : Основы и практика. М., 2005.
2. Вершков М.В., Миротворский О.Б. Судовые антенны. Л., 1990.
3. Пониматкин В.Е., Штилевой А.А., Кужелев А.А., Типикин А.А. Антенный модуль коротковолнового диапазона // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2015. Вып. 4 : Физико-математические науки. С. 74–81.
4. Ротхаммель К. Антенны : в 2 т. Т. 1. М., 2005.
5. Пониматкин В.Е., Пименов В.С., Каскевич Б.И., Артёмов Д.Г. Корабельная частотонезависимая УКВ антенная система : патент на изобретение №2731170 от 12.01.2021 г. М., 2021.
6. Balanis C. A. Modern antenna handbook. N. Y., 2008.
7. Кужелев А.А., Пониматкин В.Е. Корабельная приемная антенная система : патент на изобретение №167704 от 01.10.2017 г. М., 2021.

#### Об авторах

Дмитрий Геннадьевич Артёмов — асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: DArtemov@kantiana.ru





Владимир Сергеевич Пименов — преп., филиал ВУНЦ ВМФ «ВМА», Россия.  
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Виктор Ефимович Пониматкин — канд. техн. наук, доц., ст. науч. сотр.,  
Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.  
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Андрей Алексеевич Шпилевой — канд. физ.-мат. наук, доц., Балтийский  
федеральный университет им. И. Канта, Россия.  
E-mail: AShpilevoi@kantiana.ru

Андрей Александрович Горбачёв — канд. техн. наук, доц., Балтийский фе-  
деральный университет им. И. Канта, Россия.  
E-mail: AlGorbachev@kantiana.ru

78

### The authors

Dmitriy G. Artemov, PhD Student, Immanuel Kant Baltic Federal University,  
Russia.

E-mail: DArtemov@kantiana.ru

Vladimir S. Pimenov, Assistant Professor, MESC MMF «VMF», Russia.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Dr Viktor E. Ponimatkin, Associate Professor, Research Fellow, Immanuel Kant  
Baltic Federal University, Russia.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Dr Andrey A. Shpilevoy, Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal Uni-  
versity, Russia.

E-mail: AShpilevoi@kantiana.ru

Dr Andrey A. Gorbachev, Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal Uni-  
versity, Russia.

E-mail: AlGorbachev@kantiana.ru