

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СЕТИ ДИСТРИБУЦИИ КЛАСТЕРНЫХ СИСТЕМ\*

А. О. Сеницын, А. В. Цыганцов

Ульяновский государственный университет

Поступила в редакцию 26 декабря 2017 г.

**Аннотация:** конкурентоспособность экономики во многом определяется степенью экономической активности бизнес-резидентов. Понимание механизмов формирования и функционирования хозяйственных связей экономических агентов дает возможность управлять процессом образования цепочек добавленной стоимости, тем самым влиять на повышение конкурентоспособности региона. В работе предлагается решить задачу моделирования поведения таких экономических субъектов, как участники региональных кластеров, в частности внимание уделено разработке подходов к моделированию и построению структуры сети дистрибуции для участников экономических кластеров, входящих в данную сеть.

**Ключевые слова:** экономический кластер, партнерская сеть, коалиционная игра, региональные дилерские сети.

**Abstract:** the competitiveness of economy is largely determined by the degree of economic activity of business residents. Understanding of formation and functioning mechanisms of economic ties between economic agents in the region makes it possible to manage the process of formation of value chains, thereby increasing the competitiveness of the region. The paper proposes to solve the problem of economic agents behavior modeling entities participating in regional clusters, in particular, attention is paid to developing approaches to modeling and building the structure of the distribution network for participants in economic clusters.

**Key words:** economic cluster, partner network, coalition game, regional dealer networks.

Уровень развития региона напрямую зависит от степени экономической активности его резидентов, которая может быть развернута как между агентами внутри региона, так и с внешними, с точки зрения региональной принадлежности, экономическими агентами. Поэтому понимание процессов организации экономических отношений между агентами и возможность влияния на эти процессы могут позволить повысить конкурентоспособность региона. Предлагается рассматривать совокупность отношений экономических агентов как структурированную экономическую систему, в том числе как разновидность экономического кластера. Так, в качестве научной проблемы данной работы предлагается поставить вопрос о принципах, механизмах формирования региональных кластерных систем. Предлагается решить задачу о моделировании процесса формирования структуры кластерной экономической системы, в частности подробно рассмотреть вопрос стратегии поведения участников региональной кластерной системы на таком

этапе цепочки создания добавочной стоимости, как дистрибуция продукции. В работе рассмотрены подходы к моделированию и построению структуры сети дистрибуции для экономических субъектов – участников экономических кластеров. Данные результаты могут быть применены для повышения эффективности управления региональными партнерскими сетями. Предлагается использование методов игрового моделирования поиска равновесия для распределения добавочной стоимости между участниками цепочки поставок и цепочек дистрибуции. Рассмотрен частный случай, когда участники игры (здесь и далее понятие игры подразумевается в контексте теории игр) встроены в устойчивые хозяйственные отношения и обладают признаками кластерной системы. Исходной посылкой является то, что система хозяйственных отношений между экономическими агентами построена по кластерному типу, если выполнен ряд условий. Данные условия имеют природу допущений: 1) участники находятся внутри области ограниченной логистическим радиусом, т. е. они не имеют друг перед другом конкурентных преимуществ с точки зрения логистики, 2) участники встроены в одну интегрированную цепочку создания добавочной стоимости. Решение частной задачи о постро-

\* Работа выполнена при поддержке гранта РГНФ 16-02-00674 «Эффекты организации архитектуры цепочек создания добавленной стоимости по кластерному принципу».

© Сеницын А. О., Цыганцов А. В., 2019

ении структуры дистрибьютерской сети направлено на максимизацию экономической эффективности всех участников системы и увеличение объемов реализации создаваемых продуктов или услуг. Предложено рассматривать кластерную структуру, разбив ее элементы на два типа. Первому типу соответствуют участники, которые формируют добавочную стоимость на этапе создания продукта – поставщики, услуговые компании и другие, по большей части такие компании сконцентрированы по географическому признаку, находятся в пределах одного или нескольких соседствующих регионов (характерно для кластерных структур). Второму типу соответствуют агенты, которые участвуют в создании добавочной стоимости на этапе дистрибуции продукта и распределены на территории рыночного присутствия производителя.

Данной предметной области посвящено достаточно большое количество исследований, которые построены на основе моделирования агентской сети на электронных площадках фондовых и валютных бирж. Так, в работе Гуржита Деси [1] описана модель расширяющегося броуновского движения для выявления эффектов и скорости отклика рынка на новости. Коллективом авторов – Эфстатхиусом Панайа, Марком Харманом и Анной Везерилт [2] – предложено моделирование поведения агентов рынка на базе собранных статистических данных и обработки «больших данных». Алессио Сетзу [3] привел подробное описание ряда подходов к моделированию процессов на фондовых рынках, в том числе поведение агентов – классическая, гетерогенная модель, модель формирования добавочной стоимости и др. Похожие подходы с использованием численных методов анализа поведения участников рыночных отношений описаны в работе Виктора Манахова [4]. В его работе сделан фокус на изучение механизмов функционирования финансовых рынков с использованием «agent based» модели. Достаточно актуальным направлением исследований в настоящее время является анализ группового поведения участников рынка. Так, в работах Ахмета Сензоя и Жана Тироля [5; 6] предложена модель, описывающая ситуацию обращения на рынке с большим количеством участников – держателей актива одного типа, рассмотрены особенности группового поведения при появлении новостей фундаментального характера. Однако приведенные подходы, описанные в вышеуказанных источниках, к построению модели взаимодействия агентов создания добавочной стоимости на дистрибьютерском перепеделе заданы на поле рынков финансовых ин-

струментов. Более того, в большинстве своем такого рода подходы работают для очень большого числа участников и с высоким уровнем стохастичности. Поэтому данные модели не могут быть в полной мере адекватными для случая рассмотрения процессов возникновения добавочной стоимости при дистрибуции потребительских товаров или продукции, встроенной в хозяйственные отношения, возникающие в цепочках поставок производственных предприятий. Однако существуют модели описания поведения торговых агентов в контурах методологии теории игр. Так, в работе Д. Алгазиной [7] для решения задачи о формировании устойчивых сетей автор опирается на наиболее распространенные на сегодняшний день классические концепции решения некооперативных игр – равновесие Курно – Нэша [8] и равновесие по Штакельбергу. Особенность данного подхода к анализу построения и управлению сетевыми структурами заключается в том, что в первую очередь рассматривается взаимодействие фирм, конкурирующих между собой объемами выпуска на рынке однородной продукции. Тот же подход использован в работе А. Дюсусше [9], в ней рассмотрен вопрос сходимости игр последовательно-группового порядка в зависимости от начального выбора фирм и распределения по группам конкурентоспособности фирм. В ряде работ российских авторов предложены подходы к решению проблемы организации сети дистрибуции. В исследовании Юрия Мартьянова [10] в качестве инструментов совершенствования каналов сбыта предложено использование маркетинговых мероприятий, что является скорее качественным подходом к решению научной задачи, а не способом построения численной модели функционирования экономической системы. Предлагаемые в данной работе подходы отчасти являются продолжением результатов, описанных в труде Антуана Курно [11]. Однако имеются различия в предметном поле, допущениях и самой постановке задачи, которые будут приведены ниже.

Определим объектное поле, на котором будет построена предлагаемая модель. Под объектным полем в данном случае понимается множество элементов – оперантов модели, причем каждый из элементов такого множества отсылает к определенному типу экономического субъекта. Кроме того, данное абстрактное объектное поле включает характеристики и способы взаимодействия между элементами, включенными в него. Предметом данного исследования являются экономические субъекты, включенные в структуры, ядро которых

сформировано акторами с выстроенными долгосрочными, устойчивыми хозяйственными связями. Стоит отметить, что помимо ядра могут присутствовать элементы с нестабильными связями в общей структуре. Данными необходимыми признаками обладают кластерные структуры в экономике. Но типы хозяйственных отношений, возникающих между участниками экономических кластеров, неоднородны, что приведет к излишнему усложнению модели и ее неадекватности. Для упрощения предлагается более подробно рассмотреть активность тех участников экономических кластеров, которые вовлечены в цепочку создания добавочной стоимости на этапе дистрибуции готовой продукции – так называемые дилеры или торговые агенты. Таким образом, определенное нами объектное поле данного исследования в первую очередь ограничено экономическими субъектами, включенными в кластерные структуры на этапах дистрибуции готовой продукции. Предлагается использовать методы графического поиска решения уравнений. Материалом для написания статьи послужили подходы, предложенные Джоном Нэшом [12], в частности, инструментарий описания некооперативных игр – поиск равновесия в смешанных стратегиях экономических агентов. Кроме того, авторы статьи опирались на развитие данного направления, полученное у Гаррета Хардина [13], а также модели, разработанные Антуаном Курно [11] для описания поведения производителей и поставщиков.

Предположим, что имеется устойчивая система, которая включает в себя ряд производителей, цепочку поставщиков, причем каждый из производителей может быть включен в такую цепочку поставщиков для других производственных компаний. Данные агенты могут быть локализованы в нескольких регионах, однако должны обладать признаками экономического кластера. Кроме того, имеется сеть дистрибуции, которая может быть представлена в виде древовидного графа, элементы которого представлены торговыми агентами разного уровня. На каждом уровне графа возникает добавочная стоимость, а переходу между уровнями соответствует переход от крупного торгового агента к меньшему. Региональные свойства рассматриваемой экономической системы обуславливают допущение о том, что агенты находятся внутри области, ограниченной логистическим радиусом, т. е. они не имеют друг перед другом конкурентных преимуществ с точки зрения логистики, участники встроены в одну интегрированную цепочку создания добавленной

стоимости. Что касается цепочки создания добавленной стоимости внутри кластерной системы, то принципы ее конфигурирования описываются терминами теории игр. В частности, для такого описания может быть применен аппарат Курно [8]. Данная модель описывает ситуацию, когда определено общее количество фирм на рынке. Каждая фирма, принимая свое решение, считает выпуск остальных фирм заданным параметром (константой). Функции издержек фирм могут быть различными и также предполагаются известными всем участникам. Функция спроса представляет собой убывающую функцию от цены блага. Цена блага задана как цена равновесия отраслевого рынка (величина отраслевого предложения равна величине спроса на данное экономическое благо при одной и той же цене). Модель, предложенная Харди [12], может быть использована при описании функционирования кластерной системы в условиях доступа общего экономического ресурса нескольким участникам кластера. Допущение о кластерной природе экономической системы позволяет рассматривать цепочки поставщиков, локализованных внутри небольшой географической области – одного или нескольких соседних регионов. Таким образом, предполагается, что данная модель может быть использована для описания и построения региональных цепочек поставок. Рассмотрим, как может быть применен вышеописанный набор допущений для случая формирования добавочной стоимости на этапе дистрибуции.

Пусть имеется один производитель и  $n$  агентов, в результате деятельности которых осуществляется дистрибуция продукции на рынке. Совокупный объем в денежном эквиваленте, который выпускает производитель, обозначим через  $V$ . Каждый из агентов может стать дистрибьютором производителя и претендовать на определенный уровень доходности от реализации товара. Объем продукции, реализуемый агентом  $i$ , обозначим  $q_i$ . Введем допущение, что в зависимости от величины  $q_i$ , оборота продукции, который проходит через агента  $i$ , на рынке свободным образом устанавливается величина доходности  $r_i$ , измеряемая в процентах, с которой данный агент осуществляет реализацию. Так же, в зависимости от  $q_i$  и  $r_i$ , агент занимает соответствующий уровень в иерархии структуры дистрибуции – определенный передел в цепочки создания добавочной стоимости на этапе дистрибуции от производителя до конечного потребителя. Доходность агента на соответствующем переделе есть функция от объема, который он реализует и общего количества участников

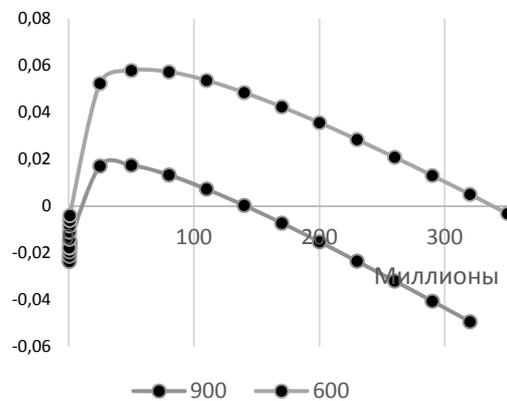
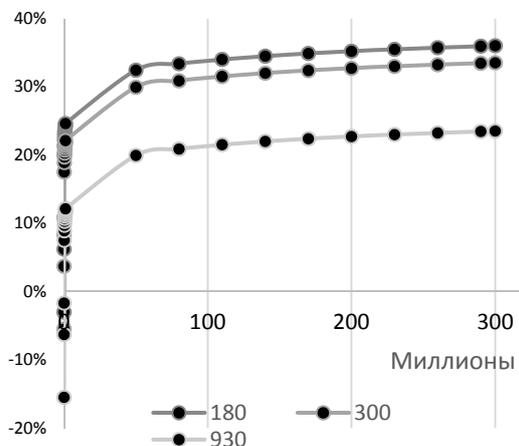
(или совокупного объема, реализуемой ими продукции) –  $r(q_i, \sum_k q_k)$ . Обозначим совокупный оборот всех агентов  $G = \sum_k q_k$ , т. е.  $r(q_i, G_{-i})$ . Традиционно компании производители выстраивают свои хозяйственные отношения с агентами дистрибуции по следующей схеме. Разрабатывается сетка скидок на продукцию, которая определяет класс агента и регулирует доходность агента в зависимости от объема оборота, реализуемого агентом. Поэтому на практике полезность (доходность) участника определяется следующей системой:

$$\begin{cases} \Pi_1 = r_1, \text{ для } q_1 < A_1 \\ \Pi_2 = r_2, \text{ для } A_1 < q_2 < A_2 \\ \dots \\ \Pi_n = r_n, \text{ для } A_{n-1} < q_n < A_n, \end{cases}$$

где матрица  $\{A\}$  определяется производителем в качестве единой схемы работы с внешними агентами для определения доходности этих агентов в зависимости от их величины (объема продукции к реализации). Тогда доходность участника определяется соотношением:  $\Pi_i = q_i r(q_i, G_{-i}) - cq_i$  (1), где параметр  $c$  – величина затрат на обеспечение оборота продукции в расчете на одну единицу. Для общего случая удобнее задать функцию полезности (доходности)  $r$  в аналитическом виде. Вид данной аналитической функции будем подбирать из следующих рыночных предпосылок – чем выше объем реализации агента, тем больше значение его доходности, причем скорость роста должна быть убывающей функцией, т. е. быстрое увеличение доходности при переходе от незначительных объемов реализации к большим, и постепенный, медленный прирост доходности на больших значениях объемов реализации:  $\frac{\partial r}{\partial q_i} > 0, \frac{\partial^2 r}{\partial q_i^2} < 0$ . Можно

положить, что адекватно отражать данную аналитическую зависимость будет функция логарифма. С другой стороны, чем больше количество участников (агентов) или чем больше объем оборота продукции, который они пропускают ( $G$ ) через себя, тем меньше добавочной стоимости будет приходиться на одного отдельно взятого игрока, т. е.  $\frac{\partial r}{\partial q_i} > 0$ . Однако скорость изменения функции должна быть постоянной. Таким образом, может быть записано  $r(q_i, G_{-i}) = \left( \alpha \ln q_i - \beta \frac{G}{V} \right)$ , а уравнение (1) примет вид  $\Pi_i = q_i \left( \alpha \ln q_i - \beta \frac{G}{V} \right) - cq_i$  (2).

Оптимальная по Нэшу стратегия игрока  $i$  определяется условием  $(q_i r(q_i, G_{-i}) - cq_i) \Big|_{q_i} = 0$ , или  $r(q_i, G_{-i}) + q_i' (q_i, G_{-i}) - c = 0$ , если подставим сюда (2), то получим частный случай:  $\left( \alpha \ln q_i - \beta \frac{G}{V} \right) + q_i \left( \frac{\alpha}{q_i} - \frac{\beta}{V} \right) - A = 0$  (3). Данное уравнение будем решать графическим способом. Эмпирические значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  положим для определенности 0,02 и 0,05 соответственно, тогда функция полезности будет выглядеть таким образом, как показано на рисунке, график 1 – зависимость доходности агента (%) объема продукции, которую он пропускает через себя (в млн руб.). На графике 2 представлены графики, соответствующие уравнению (3), для простоты принято  $c = 0$ . Графики построены для двух случаев, отношение общего оборота на перделе дистрибуции к общему объему производства (обозначим данный коэффициент  $K$ ) составляют значения 3 и 2 (графики 900 и 600 соответственно).



Рисунок

Так, из графиков можно сделать вывод, что чем выше значение коэффициента  $K$ , тем меньшему значению, пропускаемому через себя товару агентом, соответствует большая полезность (доходность). Так, при  $K$  равном 3, максимальная полезность агента достигается при отношении объема производства к его обороту и составляет  $\sim 2,2$ , с увеличением  $K$  данный показатель будет уменьшаться. Более подробно аналитические данные представлены в табл. 1.

В табл. 1 показано, как изменяется коэффициент отношения совокупного объема производства к оптимальному по Нэшу объему реализации  $i$ -го игрока. Данный коэффициент постепенно убывает, во-первых, с ростом значения коэффициента  $G/V$ , а во-вторых, с увеличением совокупного объема производства. Данный эффект обусловлен тем фактом, что чем большее количество агентов участвует в игре, тем меньше добавочной стоимости (предельное значение которой ограничено рынком) приходится на одного участника игры. Кроме того, модель показывает, что с учетом допущений, описанных выше, оптимальный объем реализации агента по Нэшу составляет примерно половину дистрибьютерского передела и ограничен бюджетом агента. То есть данная модель предпосылает древовидную структуру дистрибьютерской сети на каждом из переделов которой в два раза больше агентов, чем на предыдущем. Данные результаты также показывают работу механизмов формирования региональных сетей дистрибуции продукции.

Для оценки адекватности модели рассмотрим данные по структуре дистрибьютерской сети двух компаний, приведенные в табл. 2. В таблице представлено фактическое количество партнеров-дис-

трибьютеров, разделенных на группы (переделы) в зависимости от объема продукции, который реализуется через эти компании. В скобках приведены расчетные значения, полученные из предложенной модели.

Коэффициент Фишера для Компании 1 – 29,94 при критическом значении 6,6, для Компании 2 – 12,12 при критическом значении 5,19, что позволяет обе статистики считать достоверными. Наименования компаний не указаны по причине коммерческой тайны.

В качестве основного метода исследования применены элементы теории игр поиска равновесия для распределения добавочной стоимости между участниками цепочки создания добавленной стоимости. Применены численные методы, методы регрессионного анализа. Гипотезы положения проверены критериями рассеяния. Модель поведения участников экономического кластера может быть описана с помощью аппарата теории игр, также данный аппарат может быть задействован при описании и анализе деятельности экономических агентов, включенных в цепочку создания добавленной стоимости на этапе дистрибуции. Предложено выделить два типа природы образования добавочной стоимости внутри кластерной системы – производство продукта и его реализация. В первом случае предлагается рассматривать поведение производителя и поставщиков с помощью подходов, которые применяют Г. Хардин и А. Курно. Во втором случае в работе более подробно рассмотрен вопрос поведения участников экономического кластера, которые формируют добавочную стоимость на этапах дистрибуции готовой продукции. Предложена функция полезности для данного типа экономических агентов и

Т а б л и ц а 1

*Зависимость отношения объема производства к оптимальному объему реализации агента*

|   |         |      |      |      |      |      |      |
|---|---------|------|------|------|------|------|------|
| Объем производства, млн руб.  | $V$     | 300  | 300  | 300  | 300  | 900  | 900  |
| Совокупный оборот, млн руб.   | $G$     | 600  | 900  | 1200 | 1500 | 1800 | 2700 |
| Отношение совокупного оборота к объему производства                             | $G/V$   | 2    | 3    | 4    | 5    | 2    | 3    |
| Отношение объема производства к оптимальному объему реализации агента (по Нэшу) | $V/q_i$ | 2,21 | 2,15 | 2,01 | 1,79 | 2,71 | 2,82 |

Т а б л и ц а 2

*Фактическое количество партнеров-дистрибьютеров, разделенных на группы (переделы) в зависимости от объема продукции, который реализуется через эти компании*

|            |                              |                                  |                                  |                                  |                                  |                                  |
|------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Компания   | Объем производства, млн руб. | Количество агентов на переделе 1 | Количество агентов на переделе 2 | Количество агентов на переделе 3 | Количество агентов на переделе 4 | Количество агентов на переделе 5 |
| Компания 1 | 400                          | 2 (2)                            | 6 (5)                            | 15 (11)                          | 36 (27)                          |                                  |
| Компания 2 | 4500                         | 4 (3)                            | 10 (8)                           | 22 (22)                          | 48 (61)                          | 102 (171)                        |

сделано предположение о свойствах этой функции – она должна отражать доходность участника, быть возрастающей и иметь отрицательную вторую производную. Выдвинуто предложение о виде регрессионного уравнения влияния объема реализации агента, объема совокупного рынка продукции на функцию полезности экономического агента. Найдено решение данного уравнения в общем виде, которое соответствует равновесию системы по Нэшу, решение показывает, что полезность агента зависит от объемов производства продукции его специализации в регионе, а также от общего количества игроков на региональных рынках. Полученное решение для уравнения полезности агента – участника регионального экономического кластера – позволяет сделать вывод о древовидной структуре региональной агентской сети. Делается предположение, что полученные результаты – решение урав-

нения полезности участников цепочки создания добавочной стоимости – могут быть применимы для организации региональных цепочек поставок и структуры дистрибуции. Эмпирическая проверка полученных результатов – коэффициенты Фишера 29,94 при критическом значении 6,6 и 12,12 при критическом значении 5,19.

В дальнейшем интересным представляется поиск более точных уравнений регрессии, описывающих поведение участников цепочки создания добавленной стоимости. В качестве следующего этапа развития результатов работы предлагается оценить региональные факторы влияния на поведение экономических агентов – учет коэффициентов пространственной автокорреляции, особенности региональных рынков и наличия конкурентов на территории, более глубокая эмпирическая проверка полученных результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Dhesi G.* Modelling and Measuring the Irrational behaviour of Agents in Financial Markets : Discovering the Psychological Soliton / G. Dhesi // School of Business, London South Bank University. – 2013. – № 11. – P. 29–43.

2. *Panay E.* Agent-based modelling of stock markets using existing order book data / E. Panayi, M. Harman, A. Wetherilt // UCL, Gower Street, London WC1E 6BT, UK, 2016. – № 6. – P. 112–136.

3. *Setzu A.* A Framework for Financial Markets Modeling and Simulation / A. Setzu. – US : Massachusetts Institute of Technology, 2017. – 138 p.

4. *Manahov V.* An investigation of the behavior of financial markets using agent-based computational models : A Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy at Newcastle University Business School May, 2014.

5. *Şensoy A.* An Interacting Agents Model Approach to Stock Market Crashes / A. Şensoy // Istanbul Stock Exchange, Assistant Specialist at Research Department, 2015. – 211 p.

6. *Tirole J.* The theory of industrial organization / J. Tirole. – US : Massachusetts institute of technology, 1994. – 479 p.

7. *Алгазина Д. Г.* Моделирование сетевого взаимодействия на конкурентных рынках с неоднородным составом участников : дисс. ... канд. техн. наук / Д. Г. Алгазина. – Новосибирск, 2014. – 127 с.

8. *Cournot A. A.* Recherches sur les Principes Mathematiques de la Theorie des Richesses / A. A. Cournot. – Paris : Hachette, 1838. – 196 p.

9. *Дюсуше А. М.* Статичное равновесие Курно – Нэша и рефлексивные игры олигополии : случай линейных функций спроса и издержек / А. М. Дюсуше // Экономический журнал ВШЭ. – 2006. – № 1. – С. 3–32.

10. *Мартьянова Ю. И.* Совершенствование сбыта продукции в маркетинговой системе управления предприятием / Ю. М. Мартьянова // Вестник Самар. гос. экон. ун-та. – 2010. – № 12 (74). – С. 39–43.

*Nash J. F. Jr.* Equilibrium Points in n-Person Games / J. F. Nash Jr. – Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – Vol. 36. – 1950. – № 1. – 36–48 p.

11. *Hardin G.* The Tragedy of the Commons / G. Hardin. – Science : Vol. 162. – Issue 3859, 1968. – 1243–1248 p.

Ульяновский государственный университет  
Синицын А. О., доцент кафедры инженерной физики  
E-mail: Antonsinitsyn@mail.ru

Цыганцов А. В., доцент кафедры инженерной физики  
E-mail: Ats2412@ya.ru

Ulyanovsk State University  
Sinitsyn A. O., Associate Professor of Engineering Physics Department  
E-mail: Antonsinitsyn@mail.ru

Tsygantsov A. V., Associate Professor of Engineering Physics Department  
E-mail: Ats2412@ya.ru