# III. МАТЕМАТИКА В ОПИСАНИИ ХАОСА И СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

DOI: 10.12737/article_594ceecfe81ad3.82941090

## КОМПАРТМЕНТНО-КЛАСТЕРНЫЙ ПОДХОД В РЕШЕНИИ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ В ТЕОРИИ ЭПИДЕМИИ

*ЕСЬКОВ В.В.*

**БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет», ул. Ленина, 1, Сургут, 628400, Россия**

*Компартментно-кластерный подход и в целом системный анализ и синтез все более активно внедряется в экологию, биологию и медицину. В частности, в теорию распространения инфекционных заболеваний, которая долгие годы ограничивалась только простейшими моделями динамики распространения заболеваний. Однако, такой подход может решать задачи и оптимального проведения противоэпидемических мероприятий и даже обеспечивать правильную диагностику для отдельного больного, выбирать тактику оптимального лечения (и для отдельного больного и для группы больных в случае эпидемий инфекционных заболеваний). В этой связи возникает проблема описания задач оптимального проведения противоэпидемических мероприятий.*

***Ключевые слова:*** *Компартментно-кластерный подход, эпидемия, моделирование, заболевания.*

## COMPARTMENT-CLUSTER APPROACH TO SOLVING OPTIMIZATION PROBLEMS IN THE THEORY OF EPIDEMICS

*ESKOV V.V.*

**Surgut state University, Lenin pr., 1, Surgut, 628400, Russia**

*Compartmental-duster approaches and systems analyses and synthesis present. The real success such approaches at biology and medicine. During large period we use only simples of diseases speed and problem of real modeling of we can use for solution of optimal realization some special action for epidemic straggle or for providing solution of optimal diagnostic of every patient. So we propose the solution of the task of optimal realization some special action against of disease evolution and we model some process for diseases decreasing.*

***Key words:*** *Compartment-cluster approach, epidemic modeling, disease.*

**Введение.** Использование *компартментно-кластерного подхода* (ККП) нами рассматривается на конкретном примере оптимального проведения противоэпидемических мероприятий. Это характерный пример использования ККП в экологии и медицине, которые очень усложняют задачу, т.к. в дикой природе в реальных экосистемах существуют множество трофических уровней а, следовательно, и множество лимитирующих экофакторов [1-5]. Внешний вид организации таких уровней довольно сложен, но их математическое моделирование осуществляется весьма успешно с позиций системного анализа в рамках разрабатываемой *компартментно – кластерной теории биосистем* (ККТБ) [10-14]. В рамках системного анализа особое внимание мы уделяем лимитированию, которое широко распространено в природе. Речь идет о болезнях, которые резко ограничивают численность $x$ в моделях ККТБ и ниспровергают теорию Мальтуса (о неограниченном росте населения Земля). Действительно, известно, что эпидемия чумы в 15-м веке в Европе, например, унесла 25% жизней всего населения этого континента (т.е. умерло около 25 млн. человек, больше, чем погибших в 1-й мировой войне). Это пример лимитирования численности населения $x$ при инфекционных заболеваниях. Учитывая важность этой проблемы, можно решать задачу оптимизации противоэпидемических мероприятий в рамках системного анализа и синтеза, с использованием математических моделей и методов оптимизации динамических переменных на основе моделей ККТБ [18-23].

В настоящее время в РФ организованы службы по прогнозированию возникновения и развития различных эпидемических процессов. В частности, десятилетия работают службы по прогнозированию гриппа на территории РФ и эпизоотий инфекционных заболеваний среди животных (птичий грипп, сибирская язва и др.) Все эти действия направлены на прогнозирование эпидемических (эпизоотических) процессов, но необходимо решать задачи по снижению последствий этих процессов [18-20]. Выполнить такие действия можно только в рамках ККП.

Вслед за поступлением информации о сроках и размерах распространяющихся заболеваний соответствующие органы начинают осуществлять различные мероприятия по предотвращению и уменьшению размеров заболеваний. В этой связи естественно – осуществлять оптимальное проведение противоэпидемических мероприятий, которое включает в себя оптимальную профилактику, оптимальное лечение и эвакуацию населения из очага эпидемии. Рассмотрим пример решения первой задачи – оптимальное проведение профилактических мероприятий в урбанизированных и природных экосистемах [10, 18].

## 1. Моделирование инфекционных и неинфекционных заболеваний.

При моделировании инфекционных и неинфекционных заболеваний для инфекционных заболеваний существенную и определяющую роль играет количество и восприимчивых, и зараженных экземпляров, а также число их контактов (коэффициент встречаемости $\beta$ в моделях). Кроме этого, имеет место целый ряд других факторов (патогенез заболевания, длительность инкубационного и заразного периодов, эффективность различных специфических и неспецифических противоэпидемических мероприятий и т.д.). Первый и существенный фактор из этого перечня мы, как и в описанных ранее моделях, будем учитывать нелинейным слагаемым в правой части уравнений $-\beta xy$. Следовательно, модели, описывающие распространение инфекционных заболеваний, являются нелинейными. В простейшем случае их первые исследования были представлены довольно подробно в ряде работ Н.Т. Бэйли.

В наших моделях мы будем учитывать миграцию с помощью коэффициентов (скорости) миграции в правых частях уравнений – $\mu_i$. При этом, если имеем приток индивидуумов, то $\mu_i$ входят в правые части со знаком «+» (иммиграция), в противном случае – для эмиграции $\mu_i$ будет входить со знаком «-». В общем случае миграция может быть переменной – $\mu_i = \mu_i(t)$, а в простейших случаях $\mu_i$ можно рассматривать как постоянную величину ($\mu_i$ - *const*).

Тогда с учетом миграции, модели неинфекционных ((1) и (3)) и инфекционных ((2) и (4)) заболеваний примут следующий вид:

$$\dot{x} = -\beta x + \gamma_1 y + \mu_1, \quad (1)$$
$$\dot{y} = \beta x - \gamma y + \mu_2;$$

$$\dot{x} = -\beta xy + \gamma_1 y + \mu_1 \quad (2)$$
$$\dot{y} = \beta xy - \gamma y + \mu_2$$

$$\dot{x} = -\beta x + \delta_1 z + \mu_1, \quad (3)$$
$$\dot{y} = \beta x - \gamma y + \mu_2,$$
$$\dot{z} = \gamma y - \delta z.$$

$$\dot{x} = -\beta xy + \delta_1 z + \mu_1 \quad (4)$$
$$\dot{y} = \beta xy - \gamma y + \mu_2$$
$$\dot{z} = \gamma y - \delta z$$

Здесь $x=x(t)$ – численность здоровых (незаболевших) индивидуумов; $y=y(t)$ – численность заболевших людей $z=z(t)$ – численность удаленных индивидуумов (госпитализация, постельный режим дома, умершие); $\beta$ – коэффициент заболеваемости (для инфекционных болезней зависит от контактов для неинфекционных – от интенсивности внешнего фактора: условия радиации, экологического загрязнения среды и т.д.), коэффициент $\mu_i$ учитывает миграционные процессы. Модель (3) отличается от (5) наличием удаленных $z=z(t)$.

При исследовании моделей распространения заболеваний уже был получен ответ на вопрос о том, каким способом можно эффективно уменьшить число заболевших вплоть до нуля, а именно: путем уменьшения коэффициента $\beta$. Уменьшение численности заболевших можно вызвать и иммунизацией восприимчивых индивидуумов, эмиграцией или отстрелом заболевших животных (случай распространения заболеваний в природных (популяциях), а также эвакуацией индивидуумов из очагов распространений массовых заболеваний. Однако, проведение этих мероприятий в математическом плане несколько отличается от указанного выше.

Сформулируем теперь поставленную задачу в математическом плане. Пусть экономические потери в связи с заболеванием одного индивидуума составляют $c_1$ условных единиц (например, рублей), тогда при распространении заболевания в обществе или среди отдельного вида животных за промежуток времени [0, $T$] общие экономические потери составят некоторую функцию $J(\beta)$:

$$J(\beta) = c_1 \int_0^T y(t)dt \quad (5)$$

Предположим, что мы осуществляем некоторое мероприятие, приводящее к уменьшению $\beta$. Экономические затраты при этом будут выражаться некоторой функцией от $\beta$, т.е $f(\beta)$, причем, зависимость тут должна быть такой, чтобы при уменьшении $\beta$, $f(\beta)$ возрастала. Это отражает то факт, что любые, даже самые незначительные, действия по уменьшению заболеваемости требуют некоторых экономических затрат (расходования материальных ресурсов и рабочего времени). Очевидно, что $f(\beta)$ в этом случае должна быть монотонно убывающей функцией в области изменения $\beta$ ($\beta$ Є [0, ∞] в общем случае). Постулируем поведение $f(\beta)$ на концах интервала (0, ∞). При β → 0 она для многих, в частности, для инфекционных заболеваний должна принимать конечные значения. Если же $\lim_{\beta\to 0} f(\beta) = \infty$, то это будет означать, что наука на данном этапе не может полностью ликвидировать рассматриваемое заболевание ни при каких экономических затратах. Далее, при $\beta \to \infty$, $f(\beta)$ всегда принимает значение 0. Более того, нулевые значения эта функция может принимать и при некоторых значениях $\beta = B$, т.е. $\lim_{\beta\to B} f(\beta) = 0$. В этом случае коэффициент $\beta$ есть некоторая ограниченная величина (из реальных соображений), а $f(\beta)$, в отсутствии противоэпидемических мероприятий принимает нулевые значения.

Указанным ограничениям может удовлетворять весьма большой класс монотонно убывающих функций от $\beta$ на интервале (0, ∞). При этом можно сформулировать точные математические необходимые и достаточные условия существования минимума экономических потерь. Для этого рассмотрим теперь поведение функционала стоимости $L=J+F(\beta)$ экономических потерь в зависимости от значений параметра $\beta$. Легко видеть, что сама функция $J$ с увеличением $\beta$ (для одного и того же момента времени $t$) монотонно возрастает. С другой стороны, можно показать, выразив в явном виде $y\ (t,\ \beta)$ или $y_0(\beta)$,что для исследуемых моделей в случае больших $t$, функция $y$ есть возрастающая функция от $\beta$. Отсюда следует, что и $J(\beta)$ есть монотонно возрастающая функция для больших $t$ (практически до момента получения устойчивой картины распространения заболеваний). Таким образом, мы приходим к выводу, что для рассматриваемых моделей $L=J(\beta)\ +\ f(\beta)$ есть сумма двух монотонных функций, из которых одна возрастающая, а другая – убывающая. Докажем, что это является необходимым условием существования нетривиального (т.е. при $\beta = 0$ или $\beta = \infty$) абсолютного минимума. В этом случае, на отрезке $(0,B)$, в конечном итоге будем имеет решение задачи оптимального проведения противоэпидемических мероприятий.

**2. Решение задачи оптимального проведения противоэпидемических мероприятий**

Необходимым условием существования абсолютного минимума (максимума) функции $L = \varphi_1(\beta) + \varphi_2(\beta)$, где $\varphi_1$ и $\varphi_2$ монотонные функции от $\beta \in [0,B]$, является требование, чтобы одна из функций, или $\varphi_1$ или $\varphi_2$ – была монотонно возрастающей, а другая – монотонно убывающей.

Действительно, пусть функции $\varphi_1(\beta)$ и $\varphi_2(\beta)$ обе монотонно возрастающие, тогда $\varphi'_1(\beta) > 0$ и $\varphi'_2(\beta) > 0$. Сумма же двух положительных величин также больше 0, а это значит, что $L'(\beta) \neq 0$ для любых $\beta \in (0, B)$. В этом случае не выполняется необходимое условие существования экстремума непрерывной функции $L(\beta)$ (ее непрерывность вытекает из монотонности $\varphi_1$ и $\varphi_2$), так как ни в какой точке $L'(\beta) \neq 0$. Аналогично для случая, когда $\varphi_1$ и $\varphi_2$ обе монотонно убывающие функции, тогда $\varphi'_1 + \varphi'_2 < 0$ и $L'(\beta) \neq 0$ для любых $\beta \in (0,B)$. Итак, остается только случай, когда одна из функций $\varphi_1$или $\varphi_2$ монотонно убывающая, а другая – монотонно возрастающая. В этом случае $L'(\beta)$ равна сумме двух противоположных по знаку функций и возможно выполнение равенства $L'(\beta) = 0$ при $\varphi'_1(\beta) = -\ \varphi'_2(\beta)$.

Рассмотрим теперь достаточное условие существования абсолютного минимума $L(\beta)$ на интервале $(0,\ B)$. Это необходимое условие экстремума мы будем использовать ниже при выборе оптимальной размерностей m фазового пространства состояний в моделях расчета степени синергизма в рамках ККТБ. Поэтому эта теорема имеет принципиальное значение для всей ТХС и новых методов анализа и синтеза СТТ.

Если для указанной функции $L(\beta)$ на интервале $(0,B)$ найдется такое $\beta^*$, для которого выполняется условие I, то $L(\beta)$ обязательно имеет хотя бы одну точку абсолютного минимума

I. $\varphi_1(0) + \varphi_2(0) > \varphi_1(\beta^*) + \varphi_2(\beta^*);\ \varphi_1(B) + \varphi_2(B) > \varphi_1(\beta^*) + \varphi_2(\beta^*).$ (6)

*Доказательство*. Предположим, что условию удовлетворяет одна точка $\beta^*$, это значит, что на всем промежутке $[0,B]$ не найдется такой точки $\beta$ кроме $\beta = \beta^*$, для которой бы $L(\beta) \leq L(\beta^*)$. Значит, $L(\beta)$ левее и правее точки $\beta^*$ должны быть больше $L(\beta^*)$, т.е. для любого сколь угодно малого $\delta$, $L(\beta^* \pm \delta) > L(\beta^*)$, тогда точка $\beta^*$ является единственной точкой минимума $L(\beta)$. В случае, если имеется множество точек $\beta^*_i$, удовлетворяющих I, то выбрав такую β** их этого множества, для которой $L(\beta^{**})<L(\beta^*_i)$ мы опять приходим к существованию абсолютного минимума $L(\beta)$ на интервале $(0,B)$, $i = 1, 2, ..., k$.

Отметим, что возможно получение сразу нескольких точек $\beta^*$. Более того, если не найдется точки $\beta^*$ удовлетворяющей I, то управление по $\beta$ будет носить тривиальный характер, а именно:

$\beta = 0$, если $\varphi_1(0) + \varphi_2(0) < \varphi_1(B) + \varphi_2(B)$, (7)

$\beta = B$, если $\varphi_1(B) + \varphi_2(B) < \varphi_1(0) + \varphi_2(0)$.

В заключение следует сказать, что нахождение $L(0)$ и $L(B)$ не представляет больших трудностей, но аналитическое решение неравенств (7), вообще говоря, значительно усложняет задачу. Применяя, однако, ЭВМ для каждого конкретного случая, можно довольно легко произвести расчет $\beta^*$, а значит добиться оптимального проведения рассматриваемых профилактических мероприятий.

Рассмотри простейшие примеры решения задач оптимизации при распространении неинфекционных заболеваний в двухкомпартментных популяциях. Выполним применение вышесказанного для решения задачи об оптимальном проведении профилактических мероприятий в случае распространения неинфекционного заболевания, описываемого простейшей моделью вида:

$$\dot{x} = -\beta x + \gamma_1 y, \qquad (8)$$
$$\dot{y} = \beta x - \gamma y,$$

где мы имеем некоторый вектор $x(t)=(x_1, x_2)^T$при $x_1=x$ и $x_2=y$. Такие двухкомпартментные системы широко распространены и в теории регуляции *функциональных систем организма* (ФСО) и в теории управления (модели Н. Рашевского).

В этом случае можно проинтегрировать систему дифференциальных уравнений и получить в явном виде функциональную зависимость $L = L(\beta)$ следующего вида:

$$L= - \frac{c_1 y_0}{\beta+\gamma} e^{-\beta-\gamma} + \frac{c_1 y_0}{\beta+\gamma} + \frac{c_1 \beta c}{\beta+\gamma} + \frac{c_1 \beta c}{(\beta+\gamma)^2} [e^{-\beta-\gamma} - 1] + f(\beta),$$

где $c = x_0 + y_0 = const$. Здесь мы взяли $T = 1$, так как в любом случае время может быть нормировано путем изменения масштаба. Исследуем поведение $L(\beta)$ на концах промежутка $[0, \infty]$. Легко показать, что:

$$\lim_{\beta\to 0} L(\beta) = -\frac{c_1 y_0}{\gamma} e^{-\gamma} + \frac{c_1 y_0}{\gamma} + \lim_{\beta\to 0} f(\beta), \qquad (9)$$
$$\lim_{\beta\to\infty} L(\beta) = c_1 c + \lim_{\beta\to\infty} f(\beta).$$

Для упрощения задачи рассмотрим случай

$$f(\beta) = \frac{k}{\beta + a},\ y_0 = 0, \qquad (10)$$

тогда $L = L(\beta)$ удовлетворяет необходимому условию существования абсолютного минимума. Определим достаточные для этого условия. Так как решение трансцендентных неравенств, в нашем случае, вызывает определенные трудности, то мы произведем их асимптотическое исследование для двух случаев:

1. β<< 1 и 2. β>> 1.

Равенства (9) с учетом (10) примут следующий вид:

$$\lim_{\beta\to 0} L(\beta) = \frac{k}{a}, \qquad \lim_{\beta\to\infty} L(\beta) = c_1 c.$$

Очевидно, возможны два случая – а) $\frac{k}{a} < c_1 c$ и б) $\frac{k}{a} > c_1 c$.

Получим достаточные условия существования абсолютного минимума $L(\beta)$ для обоих случаев.

*Случай а).*

Из теоремы о достаточном условии существования абсолютного минимума следует, что мы должны указать на существование такого $\beta^*$, для которого $L(\beta^*) = \frac{k}{a}$

т.е.

$$\frac{c_1\beta c}{\beta+\gamma} + \frac{c_1\beta c}{(\beta+\gamma)^2}[e^{-\beta-\gamma}-1] + \frac{k}{\beta+a} - \frac{k}{a} < 0.$$

В асимптотике $0<\beta << 1$ можно получить выполнение этого неравенства при условии, что:

$$\frac{c_1 c}{\gamma} + \frac{c_1 c}{\gamma^2}(e^{-\gamma}-1) < 0 \quad \text{или}$$

$$0 < \frac{c_1}{\gamma}(1-e^{-\gamma}) - 1 = Z \text{ (при } \gamma>0,\ c_1>0)$$

Легко построить график функции $Z=Z(\gamma)$ при $\gamma>0$ (рис. 1) и получить значения γ, обеспечивающее минимизацию экономических потерь.


*Рис.* Зависимость функции $Z$ от параметра $\gamma$, которая при $\gamma_{опт}$ дает $z$=0.

При $\beta >> 1$ аналогичным условием является выполнение неравенств:

$c_1$ с $< \frac{k}{a}$, что противоречит исходному условию а)

<u>*Случай б).*</u>

Произведя подобные рассуждения, мы приходим к следующему неравенству:

$$\frac{c_1 c\beta}{\beta+\gamma} + \frac{c_1\beta c}{(\beta+\gamma)^2}[e^{-\beta-\gamma}-1] + \frac{k}{\beta+a} - \frac{c_1 c}{\gamma} < 0,$$

которое выполняется при $\beta << 1$, если $\beta < \frac{\gamma(c_1 c a - k\gamma)}{a[c_1 c\gamma + c_1 c(e^{-\gamma}-1)]}$ и при $\beta >> 1$, если

$$c_1 c - \frac{c_1 c}{\gamma} < 0.$$

В целом, мы получили необходимое и достаточное условие существования абсолютного минимума функции экономических затрат в случае проведения профилактических мероприятий при распространении неинфекционного заболевания, описываемого простейшей двухкомпартментной моделью. Очевидно, что подобные задачи могут возникать как в обществе, так и при эпидемия в агропопуляциях (эпидемия свиней, крупного рогатого скота и т.д.)

**Литература**


1. Башкатова Ю.В., Белощенко Д.В., Баженова А.Е., Мороз О.А. Хаотическая динамика параметров кардиоинтервалов испытуемого до и после физической нагрузки при повторных экспериментах // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23, №3. – С. 39-45.
2. Белощенко Д.В., Баженова А.Е., Щипицин К.П., Королев Ю.Ю. Эффект Еськова-Зинченко в организации непроизвольных движений человека в режиме повторения // Вестник новых медицинских технологий. – 2017. – Т. 24, № 1. – С. 29–35.
3. Белощенко Д.В., Башкатова Ю.В., Мирошниченко И.В., Воробьева Л.А. Проблема статистической неустойчивости кардиоинтервалов в получаемых подряд выборках неизменного гомеостаза в условиях Севера РФ // Вестник новых медицинских технологий. – 2017. – Т. 24, № 1. – С. 36–42.
4. Веракса А.Н., Филатова Д.Ю., Поскина Т.Ю., Клюс Л.Г. Термодинамика в эффекте Еськова – Зинченко при изучении стационарных состояний сложных биомедицинских систем // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23, №2. – С. 18-25.
5. Гавриленко Т.В., Якунин Е.В., Горбунов Д.В., Гимадиев Б.Р., Самсонов И.Н. Эффект Еськова-Зинченко в оценке параметров теппинга // Вестник новых медицинских технологий. – 2017. – Т. 24, № 1. – С. 9–14.
6. Еськов В.М., Филатова О.Е., Хадарцева К.А., Еськов В.В. Универсальность понятия «гомеостаз»// Клиническая медицина и фармакология. 2015. № 4 (4). С. 29-33.

7. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е., Хадарцев А.А., Синенко Д.В. Нейрокомпьютерная идентификация параметров порядка в геронтологии // Успехи геронтологии. – 2015. – Т. 28, № 3. – С. 435-440.
8. Еськов В.М., Вохмина Ю.В., Шерстюк Е.С. Групповая и индивидуальная динамика биопотенциалов мышц // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23, №2. – С. 26-33.
9. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Еськов В.В. Эффект Еськова – Зинченко опровергает представления I.R. Prigogine, JA. Wheeler и M. Gell-Mann о детерминированном хаосе биосистем – complexity // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23, №2. – С. 34-43.
10. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатова О.Е. К проблеме самоорганизации в биологии и психологии // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23, №3. – С. 174-181.
11. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатова О.Е. Развитие психологии и психофизиологии в аспекте третьей парадигмы естествознания // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23, №3. – С. 187-194.
12. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатова О.Е., Веракса А.Н. Биофизические проблемы в организации движенй с позиций теории хаоса – самоорганизации // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23, №2. – С. 182-188.
13. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Филатов М.А. Хаотический подход в новой интерпретации гомеостаза//Клиническая медицина и фармакология. 2016. Т. 2. № 3. С. 47-51.
14. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Филатова О.Е., Полухин В.В. Проблема выбора абстракций при применении биофизики в медицине // Вестник новых медицинских технологий. – 2017. – Т. 24, № 1. – С. 158–167.
15. Еськов В.М., Галкин В.А., Филатова О.Е. Конец определенности: хаос гомеостатических систем // / под ред. Хадарцева А.А., Розенберга Г.С. Тула: изд-во Тульское производственное полиграфическое объединение, 2017. 596 с.
16. Зилов В.Г., Еськов В.М., Хадарцев А.А.. Еськов В.В. Экспериментальное подтверждение эффекта «Повторение без повторения» Н.А. Бернштейна. // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2017. – № 1. С. 4–9.
17. Зинченко Ю.П., Филатова О.Е., Еськов В.В., Стрельцова Т.В. Объективная оценка сознательного и бессознательного в организации движений // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23, №3. – С. 31-38.
18. Филатова О.Е., Хадарцева К.А., Филатова Д.Ю., Живаева Н.В. Биофизика сложных систем – complexity // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23, №2. – С. 9-17.
19. Шакирова Л.С., Филатова Д.Ю., Ворошилова О.М., Камалтдинова К.Р. Стохастический и хаотический анализ параметров сердечно-сосудистой системы школьников в условиях широтных перемещений // Вестник новых медицинских технологий. – 2017. – Т. 24, № 1. – С. 15–20.
20. Betelin, V.B., Eskov, V.M., Galkin, V.A., Gavrilenko, T.V. Document Stochastic volatility in the dynamics of complex homeostatic systems // Doklady Mathematics. – 2017. – Vol. 95, No. 1– pp. 92-94.
21. Eskov, V.M., Eskov, V.V., Gavrilenko, T.V., Vochmina, Y.V. Document Formalization of the effect of “repetition without repetition” discovered by N.A. Bernshtein // Biophysics. – 2017. – Vol. 62, No. 1. – pp. 143-150.
22. Eskov, V.M., Bazhenova, A.E., Vochmina, U.V., Filatov, M.A., Ilyashenko, L.K. Document N.A. Bernstein hypothesis in the description of chaotic dynamics of involuntary movements of person // Russian Journal of Biomechanics. – 2017. – Vol. 21, No. 1. – pp. 14-23.

23. Eskov, V.M., Gudkov, A.B., Bazhenova, A.E., Kozupitsa, G.S. Document The tremor parameters of female with different physical trainingin the Russian north // Human Ecology. – 2017. – No. 3. – pp. 38-42.