

---

FIRST PUBLISHED: October 2011

# THE COMPLEX SYSTEMS

SLOZHNYE SISTEMY

Interdisciplinary Scientific Journal

---

April - June

№ 2 (43), 2022

---

**Editor in Chief** Ivanov O.P. (Lomonosov MSU, Moscow, Russia)  
**Deputy chief Editor** Knyazeva H.N. (NRU HSE, Moscow, Russia)  
**Assistant Editor** Startsev V.V. (Institute of Systemology, Lytkarino, Russia)

### *Editorial council*

**Bogolepova I.N.** (Research Center of Neurology RAMS, Moscow, Russia);  
**Gershenson C.** (National Autonomous University of Mexico, Mexico);  
**Erdi P.** (Center for Complex Systems Studies of Kalamazoo College, Michigan, United States);  
**Igamberdiev A.U.** (Memorial University of Newfoundland, Canada);  
**Mainzer K.** (Munich Center for Technology in Society, Munich, Germany);  
**Malinetskii G.G.** (Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russia);  
**Panin V.E.** (Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS, Tomsk, Russia);  
**Pospelov I.G.** (Dorodnicyn Computing Centre, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia);  
**Hofkirchner W.** (Bertalanffy Center for the Study of Systems Science (BCSSS), Vienna, Austria)

### *Editorial board*

**Golichenkov V.A.** (MSU, Moscow, Russia); **Klige R.K.** (MSU, Moscow, Russia); **Kurkina E.S.** (MSU, Moscow, Russia); **Magnitskii N.A.** (MSU, Moscow, Russia); **Melekhova O.P.** (MSU, Moscow, Russia);  
**Riznichenko G.Yu.** (MSU, Moscow, Russia); **Safyanov G.A.** (MSU, Moscow, Russia); **Surikov V.V.** (MSU, Moscow, Russia); **Chulichkov A.I.** (MSU, Moscow, Russia); **Schanyavskii A.A.** (State Center Air Transport Flight Safety, Khimki, Moscow region, Russia); **Kirilishina E.M.** (MSU, Moscow, Russia; technical editor); **Moiseeva M.P.** (Institute of Systemology, Lytkarino, Russia; executive editor).

---

**FOUNDER:** «Institute of System Science» JSC, 2020

---

Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technology and Mass Communications (Roskomnadzor)

Certificate of registration of mass communication media ПИ No. ФС77-42729 as of November 25, 2010

Registration number of changes ПИ No. ФС77-73604 as of August 31, 2018

**ISSN No. 2220-8569**

---

Sent for the press 08.07.2022. Format 60×88 1/8. Circulation 90. Order **989500/1306**.

Publishing company: «Institute of System Science» JSC.

Address of Editorial office: 1, Parkovaya st., Lytkarino, Moscow Region, 140080, Russia.

Tel./Fax: +7(495) 941-62-72; [thecomplexsystems.ru](http://thecomplexsystems.ru); E-mail: [mail@systemology.ru](mailto:mail@systemology.ru)

Subscription index in the integrated catalog «Press of Russia» 88852

**Frequency: Quarterly**

---

Computer imposition «Institute of System Science» JSC.

Typography: JSC MIC NPO Mashinostroyeniya, 33, Gagarin Street, Reutov, Moscow Region, Russia, 143966

---

© «Institute of System Science» JSC, 2022

© Group of authors, 2022

---

**Reprint and translation of articles only with a link to the journal**

## **СОДЕРЖАНИЕ**

---

### **Фундаментальные исследования**

---

*Покровский В.Н.* Система управления в математическом моделировании общественной эволюции. **4**

---

### **Новые идеи, подходы**

---

*Мельник И.А.* Полимодальная форма статистических распределений интенсивностей процессов преобразования открытых систем. **17**

---

### **Эксперименты, открытия, практика**

---

*Смульский И.И.* Многослойные модели шаровых звездных скоплений. Часть 2. **37**

---

### **Дискуссионные аспекты**

---

*Лисин В.В.* Физиологические основы психики и сознания. Эвристический и системно-сетевой механизм. **61**

---

## **CONTENTS**

---

### **Basic researches**

---

*Pokrovskii V.N.* Political power and governance in mathematical modeling of social evolution. **4**

---

### **New ideas, approaches**

---

*Melnik I.A.* Polymodal form of statistical distribution of intensity transformation processes in open systems. **17**

---

### **Experiments, discoveries, practice**

---

*Smulsky J.J.* Multilayer models of globular star clusters. Part 2. **37**

---

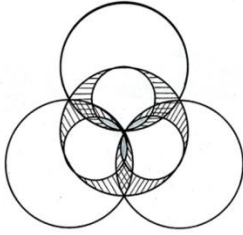
### **Debatable aspects**

---

*Lisin V.V.* Physiological foundations of the psyche and consciousness. Heuristic and system-network mechanisms. **61**

---

УДК 141.155+303.09



## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ОБЩЕСТВЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ

Покровский В.Н. (д.ф.-м.н., проф.),

Московский Государственный Университет Экономики, Статистики и  
Информатики (МЭСИ), Москва, РФ; [vpok@comtv.ru](mailto:vpok@comtv.ru),  
[ecodynamics@yandex.ru](mailto:ecodynamics@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье предлагаются количественные характеристики системы управления и его качества, что позволяет использовать и развивать методы математического моделирования при учёте влияния организации структуры управления на характер развития общества. Рассуждения начинаются с определения статусной переменной индивида индекса доминирования. Для характеристики управления можно использовать функцию плотности вероятности введенной статусной переменной, а также определить характеристические величины: мощность доминирования и индекс отчужденности управления. В заключение обсуждается расширенная система уравнений общественной эволюции и источники развития.

**Ключевые слова:** индекс доминирования, институциональная структура общества, математическая модель общественного развития, отчуждённость управления, принцип эволюции, структура управления.

### 1. ВВЕДЕНИЕ.

Чтобы глубже осознать ту ситуацию, которую переживает мировое сообщество людей сегодня, исследователи обращаются к изучению закономерностей эволюции человечества на протяжении всей его истории, используя методы математического моделирования [5]. Математическая модель всегда представляет некоторую схематизацию реальности, основанную на опытных данных, при посредстве некоторых количественных характеристик, выделенных и определённых тем или иным путем. Математическая модель фиксирует то, что нам удалось понять, и, главное, то, что нам ещё предстоит узнать.

В основе функционирования и развития сообщества людей, как сложной системы, лежит деятельность отдельных индивидов, составляющих общество, при этом могут быть выделены сферы функционирования определённого характера, которые получили название общественных институтов [6, 8-10]. В целях математического описания совокупную деятельность в рамках общества можно, опуская детали и схематизируя, разбить на три большие ветви:

**1. Институт народосбережения** включает деятельность по биологическому и социальному воспроизводству популяции, изучением которой занимается демография. Из института можно выделить и рассматривать отдельно, например, институт семьи и брака, регулирующий установление и регламентацию родственных связей, институт начального и школьного образования, институт религии. Обобщенной характеристикой, по которой можно судить об общественном состоянии, является численность популяции  $N$ ; уменьшение численности свидетельствует об общественном неблагополучии.

**2. Институт хозяйственной деятельности** или **институт экономики** имеет дело с производственно-распределительной деятельностью, изучением которой занимается эконодинамика [12]. Институт включает деятельность по исследованию естественных и искусственных процессов производства и проектированию технологического оборудования (институт науки и проектов). Фундаментальной характеристикой хозяйственной деятельности является оценка всех продуктов, созданных обществом, например, за год,  $Y$  валовой внутренней продукт.

**3. Институт власти и управления**, регламентирующий иерархию подчинения при выполнении общезначимых проектов. Важнейшими функциями института в социальной системе являются функции интеграции, адаптации и регулирования, а также обеспечение гомеостатического механизма системы и, следовательно, ее способности выживать и развиваться. Институт включает всё, чем занимается правительство или центральный орган. Из этого института можно выделить и рассматривать отдельно, например, институт политики, институт права. Институт религии также можно отнести к институту управления и контроля. В качестве единой характеристики деятельности по управлению общественными процессами, следует назвать доверие индивидов к власти, её легитимность.

При описании общественного развития каждый из трёх переплетающихся между собой видов деятельности можно рассматривать отдельно, принимая во внимание две остальные как некоторый заданный фон, например, изучать демографические процессы, считая всё остальное известным, но, конечно, более аккуратно, следует учитывать взаимовлияние различных сфер деятельности и рассматривать одновременно развитие всей совокупности институтов. Такого рода программа ещё далека от завершения: как можно судить по компетентному обзору [5], наше знание об общественной эволюции человеческого общества, об уровне развития которого судим по общей численности населения  $N$  и производственному выпуску  $Y$  (последнюю величину исследователи [5] справедливо сопоставляют с уровнем развития технологий), укладывается в рамки двух соотношений

$$\begin{aligned}\frac{dN}{dt} &= \nu(N, Y)N, \\ \frac{dY}{dt} &= \zeta(N, Y)Y.\end{aligned}\tag{1}$$

В соответствии с наблюдениями, записанные формулы фиксируют, что темпы роста населения и производственного выпуска,  $\nu$  и  $\zeta$ , определяются как ростом популяции, так и производственными успехами. Развернутое описание общественной эволюции требует, конечно, введения большего числа переменных и использование более широкого математического аппарата, как это демонстрируется в обзоре математических моделей [5], который может быть дополнен обсуждениями и результатами последующих исследований [12, Chapter 12].

Но какова роль третьего института власти и управления? Замечено, что увеличение численности индивидов и масштаба производства неизбежно вызывало

рост потребности в усложнении управления, контроля, принятия норм, политических и административных решений [3]. Названные авторы сообщают также, что развитие властных структур (политогенез) приводит к систематическому увеличению производства прибавочного продукта (производственного выпуска  $Y$ ), и, по-видимому, если ставить вопрос о более полном понимании принципов эволюции, то нельзя игнорировать такое явление как структуризация общества при описании развития общества.

Существует множество текстов, объясняющих, что такое власть (см., например, [14]), но для учета влияния на эволюции общества деятельности, описываемой третьем институтом власти и управления, необходимы количественные характеристики управления и его качества. Вопрос о характеристике уровня управленческих полномочий в обществе рассматривается в разделе 2; нас будут интересовать принципы количественного описания полномочий по управлению. Наконец, в заключении (раздел 3) на основе всего изложенного обсуждаются принципы математического описания общественной эволюции при учете встроеной системы управления.

## 2. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЩЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

**2.1. Взаимодействие индивидов.** Совместная деятельность людей совершается при взаимодействии каждого индивида, преследующего свои цели, с многими другими индивидами. Взаимодействия могут быть разнообразными по содержанию, но, однако, было замечено [8, 10], что, независимо от конкретного содержания, существуют некоторые универсальные формы отношений. Для целей нашего исследования достаточно полагать, что все отношения между людьми можно разделить на две группы<sup>1</sup>. Прежде всего, во взаимодействиях между людьми по любому поводу проявляются отношения коммуникации-кооперации, при котором два индивида общаются на равных. Два человека обмениваются сообщениями, но каждый из них чувствует себя независимым в суждениях и последующих действиях. Во взаимодействиях другого рода, определяемых как отношение превосходства-подчинения проявляется доминирование одного индивида над другим. В такого рода отношениях, в отличие от отношений коммуникации-кооперации, один из участников имеет цель или изменить статус другого участника или принудить его к определённым действиям. При этом может возникнуть ситуация, когда индивид полагает, что он доминирует и уверен в ожидаемом результате, в то время как другой участник может полностью или частично игнорировать доминирующие указания. Мы не обращаем внимания на содержание отношений и рассматриваем формальную сторону дела; по-видимому, в последующих исследованиях система отношений и их исчисление потребует более детального описания и разработки, а пока мы будем исходить из описанной простой схемы взаимодействия двух индивидов.

---

<sup>1</sup> Возможна также более детальная, также универсальная, то есть независящая от содержания, классификация отношений [4].

В каждом из перечисленных ранее видов деятельности обнаруживаются два типа отношений: коммуникации-кооперации и превосходства-подчинения, причем можно отметить, что отношения первого типа преобладают, по-видимому, в институте народосбережения, а отношения второго типа в институте власти и управления. Как правило, каждый индивид кем-то распоряжается; одновременно он испытывает чье-то влияние, признаёт превосходство каких-то индивидов, имеет какие-то авторитеты [1]. По некоторому содержанию индивид может оказаться в подчиненном отношении, по другим в отношении превосходства.

Отношение является основным элементом функциональной структуры общества, и общество может быть представлено как совокупность индивидов, между которыми существуют отношения двух типов: коммуникации-кооперации и превосходства-подчинения, причем каждый индивид может иметь отношения и того и другого типа одновременно со многими людьми по поводу различных вопросов. Отношение не является характеристикой индивида<sup>2</sup>, но в число переменных, определяющих статус индивида, может быть включена переменная  $x$  — отношение числа тех, над кем доминирует индивид, к числу тех, кому он подчиняется. Эта величина — индекс доминирования — меняется, очевидно, от нуля до неопределённо большого значения.

**2.2. Функция плотности распределения статусной переменной.** В каждый момент времени каждому индивиду мы можем приписать определённый набор статусных переменных, среди них — индекс доминирования  $x$ . Общество состоит из индивидов с различными значениями этой величины, так что структурной характеристикой общества является функция плотности распределения  $p(x)$  по переменной  $x$ , такая, что число индивидов (при полной численности рассматриваемой совокупности индивидов  $N$ ), имеющих значение переменной между  $x$  и  $x + \Delta x$ , определяется как

$$\Delta N = N p(x) \Delta x. \quad (2)$$

Функция плотности позволяет определить другие характеристики общества по избранной статусной переменной, например, среднее значение величины  $x$ , которые отражают сложность общества и могут служить мерой сложности; для эгалитарных и акефальных сообществ среднее значение характеристики полагаем равной единице; с развитием функциональной структуры общества значение этой характеристики изменяется.

---

<sup>2</sup> Мертон [10] поясняет в главе 12, с. 591-592 русского текста: "... межличностное влияние подразумевает асимметричное отношение людей. Влияние — это не абстрактное свойство личности; это процесс, в который вовлечены два (или более) человека. Соответственно, в своем анализе этих отношений мы должны рассматривать не только того, кто оказывает влияние, но и тех, кто испытывает это влияние. Иными словами, мы должны ответить на вопрос: кто и на кого влияет?"

Среднее значение переменной  $x$  может слабо меняться во времени или быть постоянной, но при этом индивидуальные значения характеристики  $x$  постоянно меняются нерегулярным образом. Каждый индивид может изменить значение приписанной ему переменной  $x$  на случайную величину  $a$ , которая может быть положительной или отрицательной. Вероятность переходов между различными состояниями индивида может быть задана в стандартной гауссовой форме

$$w(a, \langle a \rangle, \langle a^2 \rangle) = \left( \frac{1}{2\pi \langle a^2 \rangle} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left[ -\frac{(a - \langle a \rangle)^2}{\langle a^2 \rangle} \right]. \quad (3)$$

Предполагаем, что вероятность переходов может зависеть от переменной  $x$  через значения средней величины перехода  $\langle a \rangle$  и дисперсии  $\langle a^2 \rangle$ .

Задание функции вероятности переходов (3) позволяет определить [13, Chapter 11, Section 11.4.3] уравнение для функции плотности распределения  $p(x)$ , которое может быть записано как

$$\frac{\partial p(t, x)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \langle a \rangle + \frac{\partial \langle a^2 \rangle}{\partial x} \right) p + \langle a^2 \rangle \frac{\partial p}{\partial x} \right]. \quad (4)$$

В стационарном случае правая часть выражения (4) равна нулю и, соответственно, выражение в квадратных скобках не зависит от переменной  $x$ , то есть является некоторым числом, которое следует положить равным нулю

$$\left[ \left( \langle a \rangle + \frac{\partial \langle a^2 \rangle}{\partial x} \right) p + \langle a^2 \rangle \frac{\partial p}{\partial x} \right] = 0. \quad (5)$$

Мы рассматриваем уравнения (4) и (5) в области положительных значений  $x$ .

Уравнения (4) и (5) устанавливает связь функции распределения статусной переменной  $x$  с поведением индивидов через величины  $\langle a \rangle$  и  $\langle a^2 \rangle$ , которые, в свою очередь, могут зависеть от переменной  $x$ , в качестве которой может быть выбрана не только переменная доминирования, но и, например, индивидуальный доход или индивидуальное богатство.

В качестве примера укажем, что распределение  $p(x)$  по индивидуальному доходу  $x$  определяется степенной функцией [11, pages 299-345]

$$p(x) = Ax^{-(1+\alpha)}. \quad (6)$$

Это распределение, называемое распределением Парето, свидетельствует о существенном неравенстве индивидов по доходу (и, соответственно, по богатству). Ранее было установлено [13, Chapter 11, Section 11.4.3], что уравнения (4) и (5) при постоянном среднем положительном значении величины перехода

$$\langle a \rangle > 0 \quad (7)$$

и дисперсии, зависящей от переменной  $x$  как

$$\langle a^2 \rangle = \langle a^2 \rangle_0 + kx, \quad (8)$$

определяют функцию плотности распределения (6) в области  $x \gg \langle a^2 \rangle_0 / k$  со значением индекса Парето

$$\alpha = \frac{\langle a \rangle}{k}. \quad (9)$$

Это соотношение демонстрирует, что неравенство в распределении доходов существенно связано с асимметричностью элементарных переходов. Типичное значение индекса Парето и, следовательно, отношения  $\langle a \rangle / k$  равно 1,5.

Аналогичным образом может быть рассмотрено неравенство в распределении доминирования.

**2.3. Распределение индекса доминирования.** Власть, в общепринятом понимании, означает способность влиять на поведение другого человека и принуждать его к действиям, которые он не собирался делать. Осуществление властных полномочий сопровождается средствами принуждения; угроза наказания или страх наказания провоцируют послушание. В обсуждаемых здесь терминах власть является реализацией отношений превосходства-подчинения, которые, мы полагаем, непосредственно определяют общественную функциональную структуру: чем больше количество отношений превосходства-подчинения в общественной жизни, тем сложнее иерархические структуры. Отношения коммуникации-кооперации хотя и существенны, но не являются определяющими в этом отношении.

Чтобы нарисовать возможное распределение индекса доминирования  $x$  по индивидам, мы обращаемся к уравнениям (4) и (5), определяющим функцию распределения  $p(x)$ , при этом предполагая, что для средних значений величин перехода  $\langle a \rangle$  и  $\langle a^2 \rangle$  справедливы соотношения (7) и (8). Действительно, при каждом акте изменения статусной переменной индивида  $x$  имеется тенденция увеличить эту величину, и потому следует полагать, что среднее значение величины перехода не равно нулю. Это свойство индивида не зависит от значения статусной переменной индивида  $x$ . Естественно, однако, предположить, что дисперсия  $\langle a^2 \rangle$  является возрастающей функцией  $x$  в области положительных значений (иначе, переходы с большим значением переменной не могут быть эффективными).

Рисунок 1 демонстрирует разнообразие распределений индекса доминирования  $x$ .

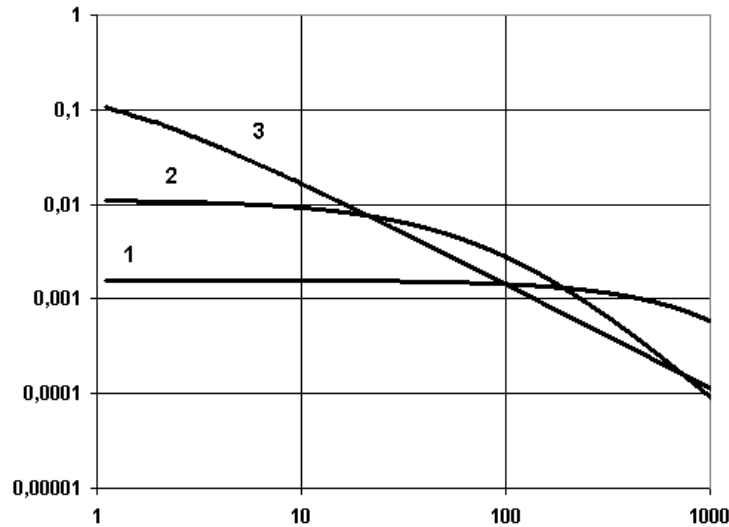


Рис. 1. Распределения индекса доминирования.

Значения функции плотности распределения вычислены при заданных значениях параметров: 1  $\langle a^2 \rangle_0 = 0,001$ ,  $\langle a \rangle = 0,000001$ ,  $k = 0$ ;

2  $\langle a^2 \rangle_0 = 0,1$ ,  $\langle a \rangle = 0,001$ ,  $k = 0,001$ ;

3  $\langle a^2 \rangle_0 = 0,001$ ,  $\langle a \rangle = 0,0001$ ,  $k = 0,001$ .

Оценки значений силы доминирования: 1  $J = 1,20$ ; 2  $J = 3,03$ ; 3  $J = 3,99$ .

Заметим, что, если  $\langle a \rangle = 0$  и дисперсия  $\langle a^2 \rangle$  не зависит от  $x$ , то функция плотности распределения представлена постоянной

$$p(x) = \frac{1}{N}, \tag{10}$$

где  $N$  число политически-активных индивидов в сообществе. Отклонения функции распределения от прямой свидетельствуют о неравномерности распределения полномочий доминирования, которое, также как и распределение богатства, связано, прежде всего, с асимметричностью средней величины изменения статусной переменной индивида.

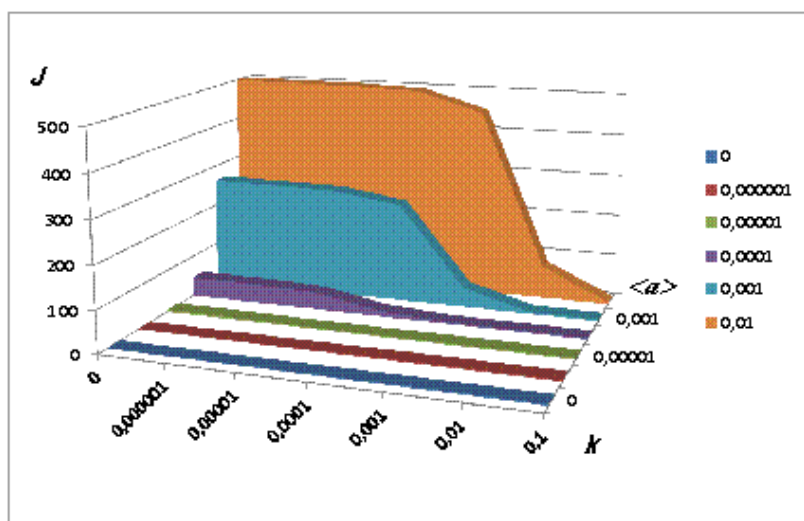
Рисунок 1 представляет распределение индивидуального индекса доминирования для слабо структурированных сообществ, которыми были, по-видимому, сообщества людей в начальный период становления, когда специализации по видам деятельности ещё не существовало. Возможно, первой выделенной необходимой специализацией явилось появление вождя племени, который был главой большой разветвлённой семьи рода или племени, руководил производственной деятельностью охотой и собирательством, заботился о безопасности племени и следил

за соблюдением справедливости. По-видимому, это такая организация управления, которую исследователи [2, 3] определяют как простое вождество.

**2.4. Мощность доминирования.** Функция распределения даёт детальное описание общественной структуры, но, удобнее иногда использовать величины, которые представляют некоторые средние оценки текущей организации управления. Существует большой набор такого рода оценок [7], например, среднее значение индекса доминирования  $\hat{x}$ , которое уменьшается при возникновении иерархии структур по сравнению с распределением в бесструктурной системе. В качестве удобной характеристики силы власти можно принять отношение средней величины индекса доминирования в бесструктурной системе к средней величине при наличном распределении

$$J = \hat{x}_0 / \hat{x}. \quad (11)$$

Зависимость этой величины от значений  $\langle a \rangle$  и  $k$  показана на рис. 2.



*Рис. 2. Мощность доминирования как функция параметров.*

При значениях  $\langle a \rangle > 0,0001$  и  $k < 0,0001$  происходит резкое увеличение мощности доминирования, что соответствует, возможно, установлению государственности. Значения вычислены при  $\langle a^2 \rangle_0 = 0,001$ .

Первоначальное функционирование группы или племени связано с малыми значениями анизотропии переходов: сообщества людей не имели политических лидеров и общественной стратификации; решения принимались на основе консенсуса. С течением времени наблюдается, как правило, усложнение структуры от менее дифференцированного к более дифференцированному, от простого к сложному. Обратим внимание, что при некоторых значениях  $\langle a \rangle$  и  $k$  происходит резкое увеличение мощности доминирования; этот подъём можно идентифицировать с тем, что на каком-то этапе развития из общего процесса общественного (в широком смысле слова) развития выделяются, по словам Гринина и Коротаев [3] "особые властные

формы организации общества, что связано с концентрацией власти и политической деятельности (как внутренней, так и внешней) в руках определенных групп или слоев". В "управлении обществом все большую роль начинают играть административные, силовые и правовые методы, применяемые новыми типами военных и гражданских профессиональных управленцев-администраторов" [3]. В конце концов, оформляется государство, как, словами Гринина [2], "система специальных (специализированных) институтов, органов и правил, обеспечивающая внешнюю и внутреннюю политическую жизнь общества; данная система в то же время есть отделенная от населения организация власти, управления и обеспечения порядка, которая должна обладать следующими характеристиками: а) суверенностью; б) верховностью, легитимностью и реальностью власти в рамках определенной территории и круга лиц; в) возможностью принуждать к выполнению своих требований, а также изменять отношения и нормы".

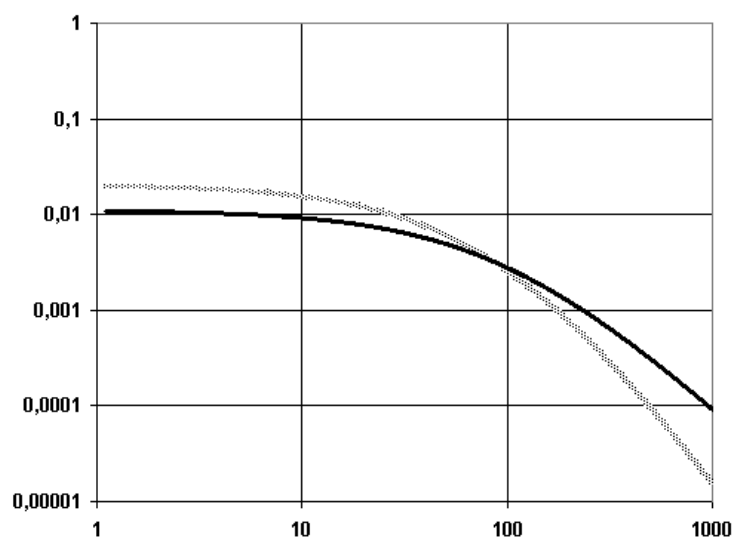
**2.5. Отчуждение системы управления.** Реализация отношений превосходства-подчинения создаёт функциональную структуру, систему, которая возникает как некоторая автономная система и руководствуется в своей деятельности осознанием необходимости определённых действий для благосостояния и развития общества. Индивиды же не всегда осознают и соглашаются с тем, что существует необходимость предлагаемых действий; во всяком случае, индивиды могут иметь своё собственное мнение. Возникает некоторое противопоставление системы управления, как на индивидуальной структуре индивидам, что можно определить как отчуждение системы управления. Это является имманентной особенностью власти и управления. Властная структура оказывается в положении управляющей, интегрирующей системы, внешней по отношению к индивидам. Отчуждение власти означает, что цели управления могут отличаться от ценностей, которые укоренились в общественном сознании. Возникает непонимание индивидами того, что предлагает власть, появляется некоторое противоречие между системой управления и сообществом, власть лишается доверия. Отчуждение системы управления может достигнуть гигантских размеров: люди, получившие власть, стремятся сохранить своё положение с помощью любых средств так долго, как это возможно, и иметь столько преимуществ, сколько возможно. Их намерения и цели могут резко расходиться с намерениями и целями отдельных индивидов, которые в такой ситуации ищут способы игнорировать руководящие предписания и стремятся найти пути удовлетворения своих потребностей. Это приводит к тому, что в некоторых случаях отношение превосходства-подчинения оказывается незавершенным: превосходство продемонстрировано, но подчинения не последовало. Распределение властных полномочий с точки зрения представителей власти может отличаться от их реализации, что показано на рис. 3.

Отличие реальной функции распределения от воображаемой (фантомной) может служить мерой качества управления, что количественно можно характеризовать индексом отчужденности управления, введённого, например, в виде

$$J_{phantom} - J. \quad (12)$$

В идеальном случае полного общественного согласия индекс отчужденности равен нулю, при этом совершаются рутинные процедуры управления общественными процессами. Индекс отчужденности, превышающий ноль, показывает отклонение от необходимого рутинного управления.

Величиной, обратной к индексу отчужденности является доверие, которое уменьшается при увеличении отчужденности. Величина отчуждения не связана непосредственно с рутинным управлением, но всё же оказывается, что, чем более развита функциональная структура управления, тем больше оказывается индекс отчужденности.



*Рис. 3. Демонстрация отчуждения системы управления.*

Точечная кривая изображает распределение индекса доминирования по представлениям управляющих, вычисленное при:  $\langle a^2 \rangle_0 = 0,1$ ,  $\langle a \rangle = 0,002$ ,  $k = 0,001$ ; сплошная кривая изображает распределение властных полномочий в реальности, вычисленное при:  $\langle a^2 \rangle_0 = 0,1$ ,  $\langle a \rangle = 0,001$ ,  $k = 0,001$ . Значения мощности доминирования  $J_{phantom} = 5,91$ ,  $J = 3,03$  определяют индекс отчуждения  $J_{phantom} - J = 2,88$ .

Заметим, что управляющая система (функция распределения индекса доминирования  $p(x)$ , мощность доминирования и индекс отчужденности управления) относится ко всему общественному организму, функционирование которого включает, как перечислено в разделе 1, три переплетающихся между собой вида деятельности. Однако, в отличие от биологических организмов, где управляющая система фиксирована, управляющая система общества эволюционирует вместе с ростом населения (институт 1) и развитием производства (институт 2).

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Определение количественных характеристик системы управления позволяет дополнить и завершить систему (1) эволюционных уравнений, которые теперь могут быть представлены, например, в таком схематизированном виде

$$\begin{aligned}\frac{dN}{dt} &= \nu(N, Y, J)N, \\ \frac{dY}{dt} &= \zeta(N, Y, J)Y, \\ \frac{dJ}{dt} &= \sigma(N, Y, J)J.\end{aligned}\tag{13}$$

Фактически здесь для трёх характеристических величин приведены определения темпов роста  $\nu$ ,  $\zeta$  и  $\sigma$ , зависимость которых от аргументов определяется по эмпирическим данным. Темпы роста населения и производства,  $\nu$  и  $\zeta$ , существенно определяется развитием производственных навыков и накоплением искусственных объектов. Кроме того, к систематическому увеличению производства прибавочного продукта (производственного выпуска  $Y$ ), по сообщению Гринина и Коротаева [3], приводит развитие властных структур (политогенез). Последнее уравнение в системе (13) представляет оценку изменений общественных усилий по организации эффективного производства, справедливого распределения и защите суверенитета сообщества в зависимости от сложившейся ситуации.

Для более детального и адекватного описания общественной эволюции возникает, конечно, необходимость введения бóльшего числа переменных, как это делается при рассмотрении демографических и производственных процессов, указанных первыми двумя уравнениями из системы (13). За деталями описания читатель может обратиться к обзорам существующих подходов [5, 12, Chapter 12]. Третье уравнение предстоит ещё сформулировать; развернутая система уравнений (13) должна в числе многих переменных содержать также характеристику качества управления индекс – отчужденности управления.

Существенно, что схема (13) учитывает все виды деятельности и позволяет качественно описать общественное развитие. Как для любой биологической популяции, для сообщества людей справедлив принцип эволюции, согласно которому, в силу самосохранения, система стремится утилизировать наибольшее количество энергии [12, Chapter 11, Section 11.1). При этом, наряду с биологически-организованным потоком энергии, поддерживающим жизнь любой биологической популяции, в человеческом сообществе возникает общественно-организованный поток энергии, связанный с производственной деятельностью человека. Развитие институтов народосбережения и хозяйственной деятельности стимулируется непосредственно доступностью внешних источников энергии и веществ. В отличие от этих институтов, развитие института власти и управления не поддерживается внешними потоками, так что управление в общем и политогенез и государствогенез, в частности, являются следствием роста численности и плотности населения и развития производственной

системы общества. Общество является саморегулирующейся системой, и источники всех изменений функциональной иерархической структуры следует искать внутри общества.

Система управления, поддерживаемая обществом, существенно влияет на все стороны жизни, и введение количественных характеристик власти и управления, необходимы для более полного описания эволюции общественных структур.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Багдасарян В., Сулакшин С. Превосходство, присвоение, неравенство. – М.: Научный эксперт, 2013. – 304 с.
2. Гринин Л.Е. Ранние государства и их аналоги в политогенезе: Типологии и сопоставительный анализ. В: Ранние формы политических систем. – Санкт-Петербург: Электронная библиотека Музея антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН, 2012. – С. 9-98. URL: <http://www.kunstkamera.ru/lib/rubrikator/02/978-5-88431-214-2/> (дата обращения 05.06.2022).
3. Гринин Л.Е., Коротяев А.В. Эпоха первичного политогенеза. В: Ранние формы постстарных систем. – Санкт-Петербург: Электронная библиотека Музея антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН, 2013. – С. 31-64. URL: <http://www.kunstkamera.ru/lib/rubrikator/02/978-5-88431-252-4/> (дата обращения 05.06.2022).
4. Докторович А.Б. Основы теории моделирования социальных взаимодействий, отношений и полей // Пространство и Время. – 2010. – № 2. – С. 55-64.
5. Куркина Е.С., Князева Е.Н., Куретова Е.Д. Циклическая динамика развития Мир-Системы // Сложные системы. – 2013. – № 3 (8). – С. 4-50.
6. Осипов Г.В., Москвичев Л.Н. (отв. ред). Социология: Основы общей теории. – М.: Норма, 2003. – С. 889.
7. Салмина А. Сравнительный анализ показателей неравенства – их особенности и применение // Общество и экономика. – 2019. – № 7. – С. 35-58.
8. Штомпка П. Социология: Анализ современного общества (Пер. с польск.) – М.: Логос, 2005. – С. 333.
9. Giddens A., Birdsall K. Sociology. Forth Edition. Fully revised and Updated. – Oxford: Polity, 2001. – P. 631. – [Перевод: Гидденс Э., Бердсолл К. Социология. – М.: Едиториал УРСС, 2005. – С. 632].
10. Merton R.K. Social Theory and Social Structure. – New York: Free Press, 1968. – 423 p. [Перевод: Мертон Р. Социальная теория и социальная структура. – М.: ХРАНИТЕЛЬ, 2006. – 873 с.
11. Pareto V. Cours d'economique politique. The first edition. – London: Macmillan, 1897. – P. 504.
12. Pokrovskii V.N. Econodynamics: The Theory of Social Production, 3rd Ed. – Dordrecht-Heidelberg-London-New York: Springer, 2018. – P. 306. – [Русский текст третьего английского издания с дополнениями доступен по ссылке URL: <http://ecodynamics.narod.ru/production/rcontent.html> (дата обращения 05.06.2022)].
13. Pokrovskii V.N. Thermodynamics of Complex Systems: Principles and applications. – Bristol (UK), IOP Publishing, 2020. – P. 215. [Русский текст доступен по ссылке: URL: <http://ecodynamics.narod.ru/thermodynamics/ComplexityR/atitlr.html> (дата обращения 05.06.2022)].
14. Uphoff N. Distinguishing Power. Authority & Legitimacy: Taking Max Weber at His Word by Using Resources-Exchange Analysis. Polity. – 1989. – Vol. 22. – No. 2. – P. 295-322. URL: <https://www.researchgate.net/publication/271779020> (дата обращения 05.06.2022).

**POLITICAL POWER AND GOVERNANCE IN MATHEMATICAL MODELING OF SOCIAL EVOLUTION**

**Pokrovskii V.N.** (Dr. Sci. (Physics and Mathematics), prof.)

*Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics (MESI),*

*Moscow, Russian Federation; [vpok@comtv.ru](mailto:vpok@comtv.ru), [ecodynamics@yandex.ru](mailto:ecodynamics@yandex.ru)*

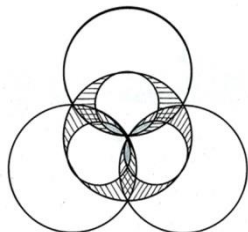
**Abstract.** The article offers quantitative characteristics of the governance and its quality, which allows the use and develop methods of mathematical modeling, while taking into account the influence of the organization of governance on the nature of the development of society. The reasoning begins with the definition of an individual's status variable – the dominance index. To characterize the governance, one can use the probability density function of the introduced status variable, as well as determine the characteristic values: the power index and the governance alienation index. In conclusion, the extended system of equations of social evolution and the sources of development are discussed.

**Keywords:** index of dominance, institutional structure of society, mathematical model of social development, alienation of governance, the principle of evolution, distribution of power.

**REFERENCES**

1. Bagdasaryan V., Sulakshin S. Prevoskhodstvo, prisvoenie, neravenstvo [Superiority, appropriation, inequality]. M.: Scientific expert, 2013. 304 p.
2. Grinin L.E. Rannie gosudarstva i ih analogi v politogeneze: tipologii i sopostavitel'nyj analiz [Early states and their analogues in politogenesis: Typologies and comparative analysis]. In: Rannie formy politicheskikh sistem [Early forms of political systems]. Saint Petersburg: Electronic Library of the Museum of Anthropology and Ethnography. Peter the Great (Kunstkamera) RAS, 2012. P. 9-98. URL: <http://www.kunstkamera.ru/lib/rubrikator/02/978-5-88431-214-2/> (appeal date 05.06.2022).
3. Grinin L.E., Korotayev A.V. Epoha pervichnogo politogeneza [The era of primary politogenesis]. In: Rannie formy potestarnykh sistem [Early forms of potestar systems]. St. Petersburg: Electronic Library of the Museum of Anthropology and Ethnography. Peter the Great (Kunstkamera) RAS, 2013. P. 31-64. URL: <http://www.kunstkamera.ru/lib/rubrikator/02/978-5-88431-252-4/> (appeal date 05.06.2022).
4. Doktorovich A.B. Osnovy teorii modelirovaniya sotsial'nykh vzaimodeistvii, otnoshenii i polei [Fundamentals of the theory of modeling social interactions, relationships and fields]. *Prostranstvo i Vremya [Space and Time]*. 2010. No. 2. P. 55-64.
5. Kurkina E.S., Knyazeva E.N., Kuretova E.D. Ciklicheskaja dinamika razvitiya Mir-Sistemy [Cyclical dynamics of the World-System development]. *Slozhnye sistemy [The Complex Systems]* 2013. No. 3 (8). P. 4-50.
6. Osipov G.V., Moskvichev L.N., ed. Sociologiya: Osnovy obshchej teorii [Sociology: Fundamentals of general theory]. M.: Norma, 2003. 889 p.
7. Salmina A. Sravnitel'nyj analiz pokazatelej neravenstva – ih osobennosti i primenenie [Comparative analysis of inequality indicators – their features and application]. *Obshchestvo i ekonomika [Society and Economics]*. 2019. No. 7. P. 35-58.
8. Sztompka P. Socjologia: Analiza spoleczenstwa. Krakow: Znak, 2002, 485 p.
9. Giddens A. with the assistance of Karen Birdsall. Sociology. Forth Edition. Fully revised and Updated. Oxford: Polity, 2001. P. 631.
10. Merton R.K. Social Theory and Social Structure. New York: Free Press, 1968. 423 p.
11. Pareto V. Cours d'economique politique. The first edition. London: Macmillan, 1897. P.504.
12. Pokrovskii V.N. Econodynamics: The Theory of Social Production, 3rd Ed. Dordrecht-Heidelberg-London-New York: Springer, 2018. P. 306.
13. Pokrovskii V.N. Thermodynamics of Complex Systems: Principles and applications. Bristol (UK), IOP Publishing, 2020. P. 215.
14. Uphoff N. Distinguishing Power, Authority and Legitimacy: Taking Max Weber at His Word by Using Resources-Exchange Analysis. *Polity*. 1989. Vol. 22. No. 2. P. 295-322. URL: <https://www.researchgate.net/publication/271779020> (appeal date 05.06.2022).

УДК 303.732.4



**ПОЛИМОДАЛЬНАЯ ФОРМА СТАТИСТИЧЕСКИХ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ  
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ**

**Мельник И.А.** (д.г.-м.н., проф.)

*Национальный исследовательский «Томский политехнический университет», Томск, РФ; melnik@tpu.ru*

**Аннотация.** Исследования многочисленных авторов показали, что статистическое распределение регистрируемых параметров трансформации любой сложной открытой системы полимодальное. Очевидно, что причина полимодальности исследуемых распределений универсальна. Целью данной работы является теоретическое обоснование и эмпирическое подтверждение следующей концепции – любая открытая и сложная эволюционирующая система с внешним воздействием характеризуется интенсивностью её преобразования, статистическое распределение которой полимодально и каждая мода соответствует определенным устойчивым состояниям процесса трансформации. В работе представлена универсальная кинематическая теория образования полимодального распределения интенсивностей преобразования открытых систем различной природы. Процессы преобразования систем с внешним воздействием могут быть различны, но во всех случаях интенсивности процессов описываются временными параметрами – отношением внутреннего времени трансформации элементов, характеристик системы к внешнему времени воздействия на систему. Определены три базовых устойчивых состояния процессов: пропорционально-стабильный; пропорционально-мобильный и непропорционально-стабильный. Базовые состояния являются векторами состояния устойчивых процессов преобразования во временной системе координат, а их модули и инвариантные углы определяются иррациональными константами «золотой» пропорции. Используя правила скалярного произведения векторов и выведенного уравнения вычисления унифицированных математических ожиданий (мод) интенсивностей преобразования систем, на основании вычисленных базовых состояний были определены семь констант-аттракторов состояния процессов с одно- и двухмерным внешним воздействием. В полимодальном распределении интенсивностей преобразования любой системы каждая мода соответствует одной из семи состояний. Представлены эмпирические подтверждения данной теории.

**Ключевые слова:** открытые системы, сложные системы, полимодальное распределение, «золотая» пропорция, интенсивность преобразования систем, аттрактор состояния, кинематическая теория.

**ВВЕДЕНИЕ**

Сложная динамическая открытая система состоит из элементов, определенным образом связанных между собой, которые при изменяющихся условиях могут трансформироваться в другие элементы, меняя структуру, свойства системы и среды [14]. Процесс эволюции открытой системы и преобразования её элементов происходит по определенным правилам, в результате поступления в систему внешнего воздействия. В зависимости от природы систем, сущность внешнего воздействия, влияющего на трансформацию её элементов, соответствует содержанию системы.

Например, система производства товаров может меняться в зависимости от внешнего поступления дополнительных финансов, от внешнего информационного потока, влияющего на целеполагание руководства и вследствие этого проводящих реструктуризацию производства. Или, например, полиминеральный песчаный коллектор в земной коре, представляющий собой открытую геологическую систему, в которой могут образовываться вторичные, аутигенные минералы из генетически связанных с ними аллотигенных компонентов породы, при поступлении глубинных флюидов с различным (в сравнении с системой) водородным показателем, но по своей природе полностью соответствующих самой системе. Здесь мы видим, что изменения в социальной системе связаны с внешним информационным потоком, а в песчаном коллекторе – внешним флюидным потоком, подобающим внутренней природе систем.

Как правило, интенсивности процессов преобразования систем, приводящие к формированию вторичных элементов и новых свойств, эквивалентны их количеству, либо размеру, состоянию, массе и т.д. Образование полимодальности в распределениях исследуемых характеристик и параметров всегда связано с внешним воздействием. Приведем примеры полимодального распределения в открытых системах различной природы.

Ранее было исследовано распределения биомассы и размеров биообъектов из экосистем разного масштаба: фитопланктона в озере, метазоев в ручье, членистоногих в лесах [12]. Мультимодальное распределение размера биоты нескольких видов конкурирующих за одну и ту же нишу, обусловлено компромиссом между воспроизводством и использованием ресурсов являющего причиной внутреннего резонанса, который может породить несколько мод. Когда конкуренция становится стохастической, поскольку сила отбора уменьшается ниже определенного порога, возникают пики, и стационарное распределение становится полимодальным. Сочетание местной конкуренции и глобальной миграции занимает центральное место во многих экологических процессах. Стохастичность в конкуренции внешней биоты с внутренней, в локальной экосистеме в определенных условиях (резонанса) приводит к образованию полимодального распределения размеров и масс биообъектов. В статье [13] приведены примеры полимодального распределения размеров улитки *Heleobia*, причиной данной формы распределения является негативное влияние паразитов на их репродукцию.

В работе [4] вероятностные графики распределения зерен осадочной породы в системе река-озеро по размерам показали, что большинство выборок являются полимодальными, с тремя модами. Полимодальное распределение размеров зерен в черноземах Северо-Восточного Китая в большей степени обусловлено ветровой эрозией почв и в меньшей степени: процессами замерзания-испарения и антропогенным влиянием [5]. В статье [6], проведенные экспериментальные исследования динамических характеристик оборудования грануляции микрокристаллической целлюлозы и моногидрата  $\alpha$ -лактозы показали, что степень грануляции и размеры гранул сильно зависят от отношения скорости подачи порошка (сырья) к скорости крутящего момента шнека. Увеличение мод в распределении размеров гранул происходит при уменьшении скорости подачи порошка.

Полимодальное распределение размеров частиц обусловлено созреванием многокомпонентных дисперсных систем с испарениями (фазовыми превращениями) внутри частиц [9]. Если внешнее давление сопоставимо (или несколько выше) с внутренним давлением насыщенного пара, то для малорастворимых нелетучих веществ образуются сложные статистические распределения.

В работах [10; 11] доказывалось, что мембранный холестерин модулирует полимодальную трансдукцию агонистов, отек и температурные стимулы в радиальной глии сетчатки глаза. Подтверждается, что внешние манипуляции с липидным микроокружением являются причиной модуляции восприятия химических, осмотических и температурных стимулов, приводящих к полимодальности.

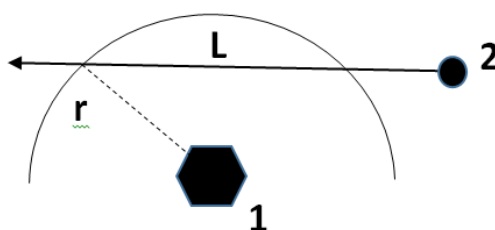
Форма распределения размеров частиц измельченной инструментальной стали становится более полимодальной с увеличением времени измельчения и добавления в порошок карбид ванадия [8]. Увеличение разнообразия размеров частиц обусловлено увеличением количества частиц с меньшим диаметром. В работе [15], исследование гранулометрического состава песка (на острове Фишер) показало его бимодальное распределение размеров, а именно крупного и среднего диаметра песчинок. Размер песка определяется фациальными условиями осадконакопления.

На основании приведенных примеров полимодального распределения количества новообразованных элементов и их свойств в системах различной природы, в результате их эволюции, можно сделать следующие обобщенные выводы: во-первых, изменения количества и качества свойств элементов систем можно выразить через интенсивность процесса преобразования; во-вторых, интенсивность процесса должна быть функционально связана с параметрами внутреннего и внешнего преобразования системы.

Целью данной работы является теоретическое обоснование и эмпирическое доказательство следующей концепции – любая открытая и сложная эволюционирующая система с внешним воздействием характеризуется интенсивностью её преобразования, статистическое распределение которой полимодально и каждая мода соответствует определенным устойчивым состояниям процесса трансформации. Отсюда вытекает необходимость решать такие задачи: во-первых, определить интенсивность преобразования открытых систем; во-вторых, выявить условия и механизмы реализации полимодального распределения интенсивностей исследуемых характеристик; в-третьих, унифицировать вычисления мод и связать их с универсальными процессами преобразования; в-четвертых, привести эмпирические подтверждения теоретическим выкладкам.

## **УНИВЕРСАЛЬНАЯ КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ**

Внутренние преобразования любой открытой равновесной системы (химической, гидродинамической, геологической, географической, биологической, социальной и т.д.) происходят при поступлении внешних источников влияний, меняющих состояние системы. Рассмотрим элементарную систему в единичном объеме (площади, отрезке), состоящую из единообразных элементов. Внутренние элементы преобразуются за определенное время ( $\tau$ ) равное отношению количества трансформировавшихся элементов к средней скорости трансформации состояний этих элементов. На рис. 1 показана принципиальная схема взаимодействия внешних элементов (2) с внутренними элементами (1) системы. Вероятность трансформации внутренних элементов характеризуется средним микросечением взаимодействия ( $\pi r^2$ ). Внешние элементы, пересекая с определенной средней скоростью:  $v = \langle L/t \rangle$  объем воздействия в пределах сферы радиуса  $r$ , вступают во взаимодействие с внутренними элементами системы.



*Рис. 1. Схема взаимодействия элементов системы (1) и внешнего источника (2), где  $r$  – радиус взаимодействия,  $L$  – длина пролета внешнего элемента.*

Время пролета внешних элементов воздействия ( $t$ ) представляет собой параметр, отражающий период воздействия внешней среды, а время процесса преобразования количественных характеристик элементов системы – внутренним временем трансформации ( $\tau$ ). Внутреннее время трансформации системы равно усреднённому времени изменения состояний всех взаимодействующих единообразных элементов системы. А время преобразования внутреннего элемента (соответственно и радиус взаимодействия) зависит от термодинамических, энергетических, либо структурно-информационных характеристик системы и внутренних, индивидуальных атрибутов элементов относительно характеристик внешних элементов влияния. В этом случае, если период времени пролета внешних элементов влияния окажется меньше периода времени преобразования внутренних элементов, то вероятность трансформации элементов системы близится к нулю. Внутренние элементы не успевают вступать во взаимодействие необходимым образом с внешними элементами. Но, когда за время движения внешних элементов они, взаимодействуя с внутренними компонентами системы успевают преобразоваться, т.е. будут представлять собой временную составную подсистему (с возможным дальнейшим процессом релаксации преобразования), то вероятность процесса трансформации самой системы стремится к единице. Это условие назовем **первым условием преобразования**:

$$\Delta\tau \leq \Delta t. \quad (1)$$

Обозначим  $Q'$  [ $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$ ] – как произведение плотности потока внешних элементов влияния, проникающих в сферу радиуса взаимодействия, содержания потенциально преобразующихся внутренних компонентов в единице объема и сечения взаимодействия. Сечение взаимодействия эквивалентно её вероятности и зависит от энергий внутренних и внешних элементов и их отношений, а также от структуры элементов самой системы. Параметр  $Q'$  представляет собой число «потенциальных событий», которые могут реализоваться в случае существования первого условия преобразования. Далее, при исследовании массива данных случайных величин параметр  $Q$  заменим относительной величиной:  $Q = Q'/\langle Q' \rangle$ . Интенсивность процесса преобразования системы будет равна относительному значению:

$$I = Q \frac{\Delta\tau}{\Delta t}. \quad (2)$$

При определенном соответствии времени движения элементов внешнего источника с временем (периодом) преобразования элементов структуры, с некой

вероятностью трансформируется сама структура. В случае единообразия внутренних элементов, их равномерной плотности в системе и постоянства потока внешнего источника:  $Q = \text{const} \pm$  стандартное отклонение, изменение интенсивности процессов будет полностью обусловлено изменением величин временных параметров.

Соотношения временных параметров двухпараметрической системы могут отличаться с точки зрения существования одного, либо двух переменных. В этом случае и состояния процессов реорганизации будут отличаться. Поэтому, возникает необходимость во введении понятия состояния процесса преобразования элементов и характеристик системы при условии:  $\Delta\tau \leq \Delta t$ .

Как правило, система, либо квантовый объект обладают внутренней характеристикой, определяемой как состояние контролируемого энергией, энтропией (мерой хаоса), либо вектором состояния (спином) в векторном пространстве, т.е. понятие обозначающее устойчивые значения переменных параметров исследуемого объекта. В нашем случае под состоянием **процесса** (не объекта) **преобразования материи** понимаются устойчивые значения переменных временных параметров (периодов) преобразования элементов системы и пролета внешних компонентов воздействия на данные элементы. Состояние процесса определяется в векторном пространстве временных параметров.

Рассмотрим состояние процесса преобразования системы с одной переменной. Наиболее встречающийся процесс изменения структуры связан с изменением времени течения (пролета) внешних токов (любых, в зависимости от рассматриваемой системы) при постоянном внутреннем времени преобразования. В этом случае изменение интенсивности трансформации характеристик элементов системы в пространстве (градиент) самой системы будет обратно пропорционально изменению в пространстве

периода пролета внешних элементов:  $\frac{\partial I}{\partial x} = \frac{\partial \Delta t(x)^{-1}}{\partial x} \text{const} .$

Следовательно, при одной переменной градиент интенсивности пропорционального процесса преобразования системы может быть пропорционален только градиенту периода времени потока внешних элементов, либо градиенту времени внутреннего преобразования системы. Причиной преобразования является внешнее воздействие, обладающее определенным пространственным направлением. Все пространственные структурные изменения системы сонаправлены данному внешнему потоку.

Итак, **пропорциональное состояние** процесса — это такое состояние, когда в двухпараметрической системе только один параметр может быть переменным (например,  $\Delta t$ ), а изменение интенсивности преобразования ( $I(\Delta t)$ ) пропорционально изменению соответствующего параметра ( $\Delta\tau/\Delta t \sim I(\Delta t)$ ) причем, второй параметр ( $\Delta\tau$ ) остается постоянным (либо наоборот:  $\Delta t$  – постоянный, а  $\Delta\tau$  – переменный). Для пропорционального состояния частные производные по времени интенсивности (2) будут соответствовать следующим значениям:

$$\frac{\partial I(\Delta t)}{\partial(\Delta t)} = -\frac{Q\Delta\tau}{\Delta t^2}, \quad (3a)$$

$$\text{либо } \frac{\partial I(\Delta\tau)}{\partial(\Delta\tau)} = \frac{Q}{\Delta t} = \text{const} . \quad (3b)$$

Согласно полученным зависимостям пропорционального состояния (3), изменение интенсивности процесса преобразования систем связано только с квадратом переменного параметра ( $\Delta t$ ) внешнего воздействия.

Состояние процесса трансформации исследуемых характеристик систем должно быть некоторое время устойчивым и, следовательно, для реализации организующей системы с двумя переменными параметрами ( $\Delta\tau$ ;  $\Delta t$ ) необходимо ввести стабилизирующее воздействие. Для определения условий стабилизации процессов преобразования систем с двумя независимыми переменными параметрами, но коррелирующими между собой с обратно-пропорциональной зависимостью, введем постоянную величину как произведение данных параметров:

$$\tau t = \Delta\tau \Delta t = \text{const} = c. \quad (4)$$

Используя преобразованную зависимость (2), условие стабилизации (по времени) процесса трансформации систем можно выявить на основании решения дифференциального уравнения:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{I t^2}{Q} \right) = \frac{\partial}{\partial t} (t \tau). \quad (5)$$

Решением данного уравнения будет следующее (второе) **условие стабилизации преобразования, приводящее к устойчивости системы:**

$$t = Q\tau. \quad (6)$$

При данном условии (6) производная (5) произведения равна нулю, следовательно, это произведение (4) соответствует постоянной величине. Используя условие (6) вычислим производную второго порядка от интенсивности процесса преобразования:

$$\frac{\partial^2 I}{\partial t \partial \tau} = -\frac{1}{t\tau} = -\frac{1}{c}. \quad (7)$$

Полученное равенство (7) показывает, что изменение (по времени) интенсивности преобразования систем под внешним воздействием, при условии стабилизации процесса обратно пропорциональна константе с отрицательным знаком.

В этом случае условие стабильности позволяет градиент интенсивности реализовать как образование пропорций с одной квадратной переменной:

$$\frac{\partial I}{\partial x} \sim c \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{\Delta t(x)^2} \right) = \frac{\partial \Delta\tau(x)^2}{c \partial x},$$

т.е. **стабильное состояние** процесса преобразования – это такое состояние, когда изменение одного переменного параметра и одновременное обратно пропорциональное изменение другого независимого от него переменного параметра приводит к одновременно резкому изменению интенсивности процесса преобразования. Это есть

устойчивое непропорционально-стабильное состояние. При условии независимости временных параметров система их координат ортогональна.

Условие стабильности предполагает реализацию кроме стабильного ещё и мобильное состояние процесса, т.е.  $\Delta t \Delta \tau \neq \text{const}$ . Мобильное состояние возможно реализовать только в пропорциональном процессе, потому что в этом случае присутствует всего один переменный временной параметр. Поэтому изменение интенсивности в зависимости от времени в пропорционально-мобильном состоянии будет соответствовать только уравнению (3а).

Одновременное сохранение двух состояний преобразования (стабильного и пропорционального) возможно только в случае применения зависимостей (3) при условии (6):

$$\frac{\partial I}{\partial t} = -\frac{1}{t}; \quad \frac{\partial I}{\partial \tau} = \frac{1}{\tau}. \quad (8)$$

Пропорционально-стабильное устойчивое состояние процесса преобразования – это такое состояние, при котором временные параметры по модулю равны между собой и градиент интенсивности постоянен:

$$\frac{\partial I}{\partial x} = \text{const}, \text{ т.е. } \Delta t(x) = \text{const} \text{ и } \Delta \tau(x) = \text{const}.$$

Итак, мы получаем три устойчивых, базовых типа состояний процессов внутреннего преобразования систем: пропорционально-стабильное (ПС); пропорционально-мобильное (ПМ) и непропорционально-стабильное (НС). Что позволяет провести аналогию с диалектическими категориями Гегеля – триадой: тезис – антитезис – синтез. В состояниях процессов данные категории будут звучать как: ПМ – НС – ПС. Здесь явные противоположные понятия (ПМ и НС) объединяются в процессе ПС.

Исследуем ортогональную временную систему координат  $\tau$  и  $t$ , когда постоянная в равенстве (4) равна единице ( $c=1$ ) (рис. 2). При данном условии, площади квадрата и четырехугольника будут равны единице, т.е.:  $\Delta \tau_{\text{ПС}} = \Delta t_{\text{ПС}} = 1$  и  $\Delta \tau \Delta t_{\text{ПС}} = \Delta \tau \Delta t_{\text{НС}} = 1$ . Стороны двух фигур определяются на основании решения квадратного уравнения:

$$\Delta \tau_{\text{ПС}}^2 = \Delta \tau_{\text{НС}}^2 + \Delta \tau_{\text{ПС}} \Delta \tau_{\text{НС}}. \quad (9)$$

Единственным решением уравнения (9) для **положительного** значения будет число «золотой» пропорции [17]:

$$\Phi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = 1,618... .$$

Это число обладает уникальным свойством:  $1/\Phi = (\Phi - 1) = \varphi$ , а их произведение  $\varphi \Phi = 1$ . Поэтому:

$$\Delta \tau_{\text{НС}} = \varphi, \Delta t_{\text{НС}} = \Phi \text{ и } \Delta \tau_{\text{НС}} / \Delta t_{\text{НС}} = \varphi^2. \quad (10)$$



приведение в соответствие вычисляемых математических ожиданий (мод) процессам преобразования систем.

Используя скалярное произведение векторов, по рис. 2 вычислим нижнее граничное значение:

$$j = |\vec{OA}| |\vec{OP}| \cos \gamma.$$

Величина нижнего граничного значения унифицированной интенсивности равна:  $|OU|=|OB|=j=\varphi^2=0,3819\dots$ . Вектор состояния ПС вычисляется согласно следующей зависимости:

$$|\vec{r}_{ПС}| = \frac{|\vec{OU}|}{\cos \gamma}.$$

Далее, можно определить вектор состояния ПМ\* при одномерном направлении воздействия

$$|\vec{r}_{ПМ^*}| = |\vec{r}_{ПС}| |\vec{r}_1| \cos(\gamma - \beta) = j,$$

где  $|\vec{r}_1| = \sqrt{|OC|^2 + |CM|^2} = \sqrt{\varphi^2 + \varphi^4}$ , математическое ожидание (мода) промежуточного состояния одномерного воздействия ПМ\* будет определяться как:

$$\mu_{ПМ^*} = \frac{|\vec{r}_{ПМ^*}|}{\cos(\gamma - \beta)}. \quad (12)$$

Вектор одномерного состояния преобразования НС\* будет определяться через скалярное произведение векторов:  $|\vec{r}_{НС^*}| = |\vec{r}_{ПС}| |\vec{r}_2| \cos \gamma = j$ , где  $|\vec{r}_2| = |\vec{OD}| = 1$ ; мода одномерного состояния НС\* равна:

$$\mu_{НС^*} = \frac{|\vec{r}_{НС^*}|}{\cos(\gamma - \alpha)}. \quad (13)$$

На основании базовых углов определим ещё два угла, являющих собой состояния одномерного воздействия:

$$\begin{aligned} \lambda_{ПМ^*} &= \cos(\gamma - \beta) = 0,973\dots, \\ \lambda_{НС^*} &= \cos(\gamma - \alpha) = 0,912\dots \end{aligned} \quad (14)$$

Если постоянное, либо цикличное воздействие внешнего фактора на процесс преобразования элементов системы имеет некое пространственное анизотропное направление и в тоже время, может возникать некое переменное влияние на систему от другого источника, то необходимо ввести еще одну независимую альтернативную переменную  $\Delta t_y$  – период времени внешних альтернативных элементов влияния. Следовательно, после введения еще одной ортогональной временной координаты  $t_y$  получаем трехмерную систему координат  $t_x t_y$ . Поворот плоскости  $t_x t_y$  в конечную фазу

ПМ или НС увеличивает величину вектора состояния и интенсивность рассматриваемого процесса (14). В итоге получаем следующие угловые координаты отражающие двухмерное воздействие:

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{ПМ}} &= \cos(\gamma - \beta) \cos(\gamma - \beta) = 0,947\dots, \\ \lambda_{\text{НС}} &= \cos(\gamma - \beta) \cos(\gamma - \alpha) = 0,887\dots\end{aligned}\quad (15)$$

Каждая мода соотносится с нормальным распределением, характеризующим  $\sigma$  – его стандартным отклонением ( $\sigma \approx 2-3\%$  от  $\mu$ ). Математическое ожидание нижнего граничного значения, т.е. состояния ПС будет равно:

$$\mu_{\text{ПС}} = j \pm \sigma. \quad (16)$$

На основании (15) два состояния (двухмерные) интенсивностей процессов (как и два предыдущих, одномерных) соответствуют следующим зависимостям:

$$\begin{aligned}\mu_{\text{ПМ}} &= \mu_{\text{ПС}} / \lambda_{\text{ПМ}}, \\ \mu_{\text{НС}} &= \mu_{\text{ПС}} / \lambda_{\text{НС}}.\end{aligned}\quad (17)$$

В итоге, используя следующие зависимости (12, 13, 16, 17) получили статистический комплекс мод, соответствующий интенсивностям процессов пяти состояний преобразования систем, связанных в единое целое. В свою очередь, следующий комплекс мод будет соотноситься с другим нижним значением. Следующее начальное состояние (i) преобразуется в последующее ПС состояние по закону:

$$\mu^{i+1}_{\text{ПС}} = \mu^i_{\text{ПС}} / \Psi. \quad (18)$$

Величины постоянной преобразования базовых состояний  $\Psi$  будут различны для нормального (x) и альтернативного (y) внешнего потока. Нормальный поток – это внешний доминирующий поток, который действует постоянно, либо циклично (во всей системе), а альтернативный поток – это локальный поток воздействия, который не всегда проявляется и не везде. В системе временных координат вектор состояния ПС преобразуется в промежуточное состояние ПС\* с последующим поворотом плоскости на косинус углов НС<sub>б</sub> или ПМ<sub>б</sub>. В итоге получаем константы отношений косинусов базовых углов:

$$\begin{aligned}\Psi_x &= \cos \gamma / \cos \alpha = 0,757\dots, \\ \Psi_y &= \cos \gamma / \cos \beta = 0,831\dots\end{aligned}\quad (19)$$

Таким образом, разрешенные состояния процессов, их дискретность обусловлены угловыми координатами устойчивых (базовых) состояний процессов преобразования в системе временных координат, а инвариантность мод распределения интенсивности процессов – числами «золотой пропорции» при вычислении углов устойчивых состояний процессов преобразования. Очевидно, что дискретные состояния процессов при структуризации систем представляют собой аттрактор. Математические ожидания мод дискретных состояний первого блока в распределении интенсивностей устойчивых процессов, вычисленных по формулам (11-19) будут равны следующим величинам (см. таблицу 1):

Таблица 1. Математические ожидания мод унифицированных дискретных состояний статистических распределений интенсивностей процессов преобразования систем

ПС	ПМ*	М	С*	НС	ПС(2)у	ПС(2)х
1	2	3	4	5	6	7
0,382	0,392	0,403	0,418	0,430	0,459	0,504

В зависимости от реализации одного из мод ПС(2) (х, либо у) относительно его величины вычисляются следующие моды второго блока дискретных состояний.

Если отношение  $\Delta\tau/\Delta t = \text{const}$ , то в уравнении (2) изменение интенсивности обусловлено изменением параметра Q. Очевидно, что в этом случае формы гистограмм статистических распределений выборок интенсивностей могут быть непрерывными, при унимодальных структурах их вид будет нормальным, логнормальным и т.д. Но в открытых системах при внешнем воздействии в уравнении (2) появляется переменный относительный временной параметр и на непрерывный вид распределения интенсивности процесса преобразования «положится» спектр мультимодальности.

Итак, на основе полученного унифицированного мультимодального спектра статистической выборки интенсивностей процессов различной природы можно определять причины появления мод и, при необходимости их коррекции, соответствующе запланированным образом в нужную сторону менять режим внешнего воздействия на исследуемую систему.

Рассмотрим выборку преобразованных систем единой природы количеством  $q \gg 30$ . Пусть общее количество элементов на единице пространства системы до взаимодействия:  $M = m + n$ , где  $m$  – количество непреобразованных элементов,  $n$  – регистрируемое количество новых, преобразованных элементов. Многочисленные исследования показали, что  $n$  всегда пропорциональна интенсивности преобразования. В этом случае интенсивность процесса преобразования системы можно записать как отношение:  $I = n/M$ , а разность интенсивности:  $\Delta I = 1 - I$ . Количество непреобразованных элементов будет соответствовать произведению:  $m = M \Delta I$ . При значительном количестве выборочных значений  $q$ , предел среднего отношения:  $\lim_{q \rightarrow \infty} \langle \frac{m}{M} \rangle = 0,5$ , поэтому

$\langle n \rangle = \langle m \rangle$ . Определим среднее значение непреобразованных элементов систем в интервале  $[I_0; 1]$  по стандартной формуле:

$$\langle m \rangle = \langle M \Delta I \rangle = \frac{\langle M \rangle}{1 - I_0} \int_{I_0}^1 \Delta I dI . \quad (20)$$

Решением уравнения (20) является следующая зависимость:

$$I_0 = \frac{2 \langle m \rangle}{\langle M \rangle} - 1, \quad (21)$$

где минимальный параметр интенсивности преобразования  $I_0$  будет больше нуля только при условии отношения средних величин больше 0,5. Для реализации данного

неравенства в уравнение (21) вместо коэффициента 2 введем коэффициент пропорциональности  $\chi > 2$ . Очевидно, что для каждого процесса, в зависимости от природы, он будет отличаться.

На основании преобразованной формулы (21) и следующей замены:  $J = I_0 + 1$ , получаем уравнение:

$$\frac{\langle M \rangle}{\langle m \rangle} = \frac{\chi}{J}. \quad (22)$$

В левой части равенства (22) по параметру  $J$  в пределах математических ожиданий  $[0; I_0]$  вычисляем определенный интеграл, а в правой части – неопределенный интеграл и извлекаем следующее равенство:

$$\frac{\langle M \rangle}{\langle m \rangle} I_0 = \chi \ln(I_0 + 1) + C. \quad (23)$$

После проведения замен параметров:  $n_0 = I_0 \langle M \rangle$ ;  $\langle n \rangle = \langle m \rangle$ ;  $\mu_{\text{mod}} = I_0$  и преобразования уравнения (23) получаем универсальное уравнение мод **унифицированных** интенсивностей процессов преобразования среды:

$$\mu_{\text{mod}} = \exp \left[ \frac{G_{\text{mod}} - C}{\chi} \right] - 1, \quad (24)$$

где  $G_{\text{mod}} = \frac{n_0}{\langle n \rangle}; \frac{I_0}{\langle I \rangle}$ , т.е. относительная величина любых измеряемых выборочных значений соответствующих  $n_0$  – количеству преобразованных элементов,  $I_0$  – интенсивностям процессов преобразования элементов, измеряемых характеристик элементов системы на уровне мод; константы равны:  $C = -3,5$  и  $\chi$  находящееся в пределах  $12 \div 14$ . Для каждой генеральной выборки систем различной природы преобразования среды, в гистограмме распределения измеряемого значения  $n$ ,  $\chi$  – константа в уравнении (24) определяется в случае соответствия математического ожидания моды  $\mu_{\text{ПС}} = 0,3819$  минимальной (первой, либо в редком случае второй) моде. В этом случае формула вычисления  $\chi$  выглядит так:

$$\chi = \frac{G_{\text{mod}}(1) + 3,5}{0,3235}. \quad (25)$$

### **ЭМПИРИЧЕСКИЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ**

Собственные исследования автора в области статистических распределений интенсивностей процессов в различных системах позволили накопить внушительный объем эмпирических данных подтверждающих полимодальность распределений интенсивностей как в геохимических, геологических, так и в ядерно-физических системах [2, 3]. Дискретно-полимодальная форма статистического распределения формируется только при условии внешних воздействий на процесс организации эволюции структурной системы. Представленная кинематическая теория

распределения мод, их унифицированных величин полностью подтвердилась по результатам статистического анализа эмпирических данных. В данном случае в качестве примера показаны результаты обработки геолого-геохимических и географических данных и их сопоставления с результатами вычисления унифицированных мод, с определением состояний процессов преобразования систем.

При построении моделей фациальной обстановки осадконакопления коллекторов на нефтегазовых месторождениях, геологам необходимо знать палеосолённость исследуемых пластов, являющейся индикатором водной палеосреды (море, озеро). Геолого-геохимические системы представляют собой системы с внешним потоком воздействия. Под фациальными условиями понимается определенная водная среда (дельта реки, озеро, глубь морского бассейна, лагуна, заливы, прибрежное мелководье и т.д.), гидродинамика воды (застойная, волновая, подводные течения), палеосолённость (пресная, слабо-, средне- и сильноминерализованная), сами фации и климатические условия.

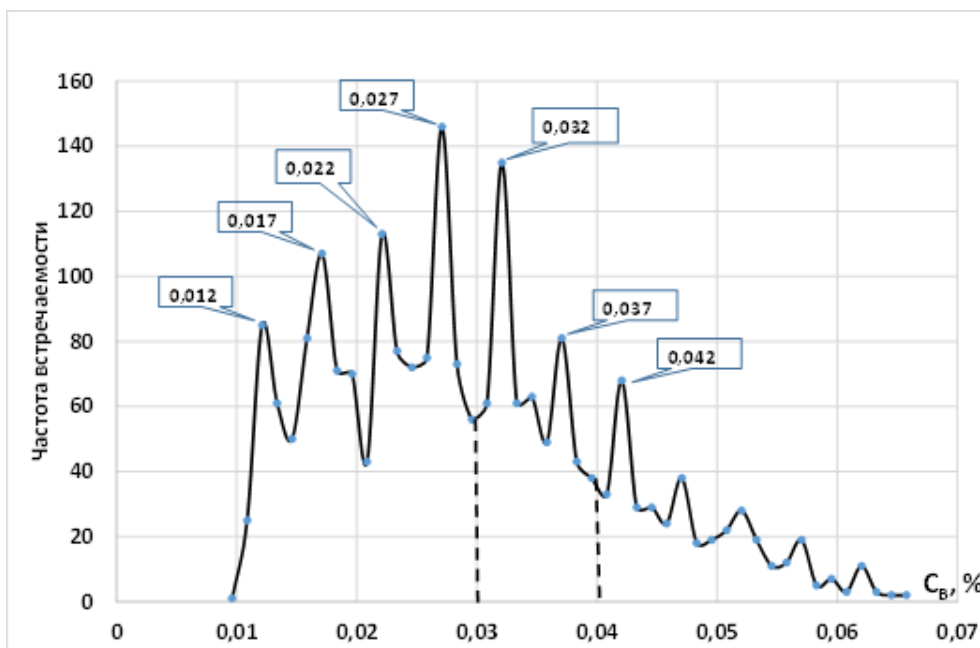
В морской воде, с увеличением минерализации и соответственно  $pH > 7,5$ , формируются сложные гидроксикомплексы бора и образуются его отрицательно заряженные формы. В нейтральной и слабокислой среде (в пресных водах) преобладают положительно заряженные ионы. В свою очередь, на дневной поверхности и в зоне гипергенеза глинистые отложения (сорбирующие бор) несут в себе положительный заряд, поэтому содержание бора в морских фациях в несколько раз больше его содержания относительно пресноводных водоемов [7].

Конечно, в этом случае необходимо учитывать процесс адсорбции бора глинистыми минералами. Для выделения содержания бора в качестве индикатора палеосолёности водоема определенное содержание бора (св, %) нужно нормировать на коэффициент глинистости породы:  $C_B = c_B / K_{гл}$ . В этом случае доминирующими факторами влияния на изменения относительного содержания бора будут изменения палеосолёности, как внутренней химической характеристики систем ( $\Delta t$ ) и внешней гидродинамики, обуславливающий временной параметр воздействия ( $\Delta t$ ).

Относительное содержание бора в полимиктовой песчаной породе определялось по разработанной авторской методике, на основе нейтронного и гамма-каротажа скважин, позволяющей набрать статистически значимый массив данных содержаний бора.

На рис. 3 показана гистограмма статистического распределения 2142-х значений содержания бора (нормированного на коэффициент глинистости) в песчаной породе меловых отложений полуострова Ямал. Форма статистического распределения относительного содержания бора мультимодальна, с присутствием логнормального «хвоста». На рисунке даны числовые величины мод относительного содержания бора.

После определения константы  $\chi = 12,63$  по формуле (25) были вычислены математические ожидания наиболее значимых мод (таблица 2). Константа определялась по второй моде, т.к. появление первого экстремума может быть связано со вторичными процессами выщелачивания, проявляющимися в толщах горных пород в результате эпигенетических процессов. Об этом косвенно подтверждали результаты анализа керн.



*Рис. 3. Гистограмма распределения относительного содержания бора в меловых песчаных пластах углеводородных месторождений полуострова Ямал.*

Анализ таблицы 2 указывает на то, что вычисленные значения мод, по эмпирическим данным относительного содержания бора, полностью соответствуют их теоретическим математическим ожиданиям. В свою очередь, сопоставления результатов определенных состояний процессов преобразования систем, при анализе фациальной обстановки осадконакопления исследуемого пласта изучаемой площади, с результатами анализа проведенными традиционным методом (геологическая интерпретация данных ГИС и петрологическое исследование керна) позволяют утверждать, что вычисленные состояния процессов геологических систем соответствуют действительным состояниям, т.е. подтверждает их валидность.

Рассмотрим речную систему. В стандарте «Росгидромет» имеются табличные данные (более 100-летний период) сезонного расхода воды стока рек, которые были использованы для построения гистограмм и определения мод относительных параметров [1]. Руслу рек можно рассматривать как открытые гидрографические системы, где внешним потоком, влияющим на расход воды, являются осадки: дождь, таяние снега. Питаются реки таловыми, дождевыми и грунтовыми водами. В свою очередь, испарение и увлажнение почв уменьшают расход и являются внутренним преобразующим процессом в зависимости от атмосферной температуры.

Используя табличные данные расхода воды, были построены гистограммы их распределения по сезонам. Например, при построении гистограммы значения минимальных 30-ти суточных летних расходов воды ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) реки Великая Псковского района, в выборке из 81 значений, в пределах расхода от  $10 \text{ м}^3/\text{с}$  до  $61 \text{ м}^3/\text{с}$ , было получено трёхмодальное распределение. Математические ожидания мод, вычисленных согласно уравнению (24), при константе  $\chi=13,42$  оказались равны:  $\mu_1=0,382$ ;  $\mu_2=0,416$ ;  $\mu_3=0,45$ . Они соответствуют состояниям процессов: ПС; НС\* и ПС(2)у. В летний период, для небольшой реки не имеющей значительных притоков (в основном питающееся за счет грунтовых вод), при испарении – как внутреннего процесса

*Полимодальная форма статистических распределений интенсивностей...*

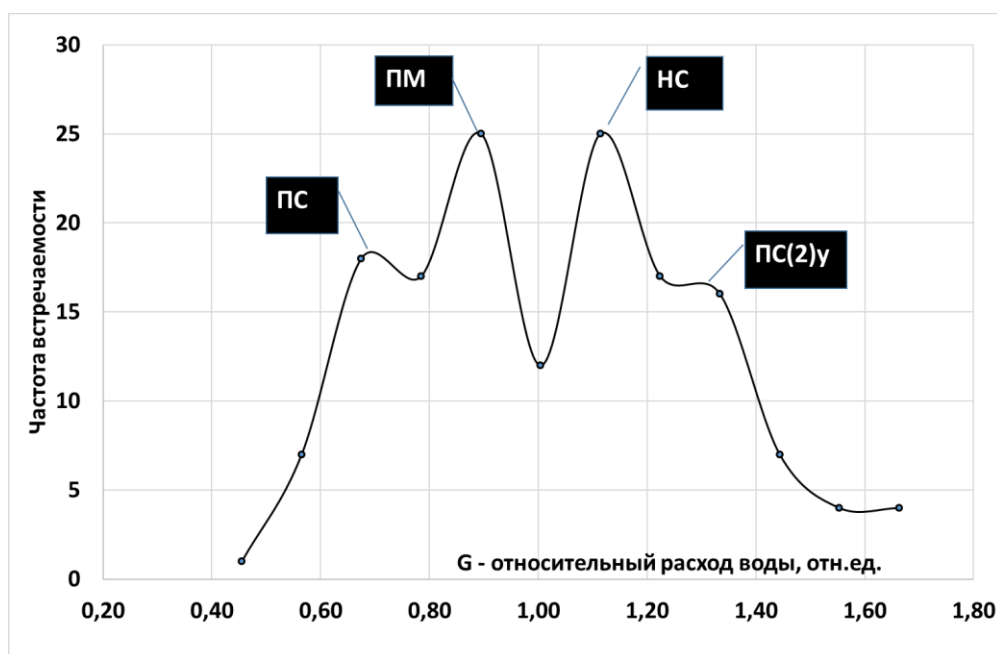
фазового преобразования, состояние процесса изменения расхода воды будет одномерное: НС\*.

*Таблица 2. Сопоставления состояний процессов преобразования песчаной среды (при накоплении бора) с фаціальными условиями осадконакопления*

№	С <sub>вi</sub> , %	Моды и состояния		Определение фаций (по бору) с учетом состояний процессов	Фаціальные условия, определенные традиционным способом
		μ <sub>i</sub> , усл.ед.	Тип состояния		
1	0,017	0,382	ПС	Застойная пресная вода	Пресные озера: застойный и слабо подвижный постоянный режим вод
2	0,022	0,401	ПМ	Происходит резкая смена солености (от пресного до малосоленого) в результате гидродинамики двух потоков. Это возможно на границе дельты реки и моря	Дельтовые каналы: постоянный очень активный потоковый режим вод
3	0,027	0,420	НС*	Среднесоленая вода с одним направлением водного потока	Барьерные острова, отдельные части баров: прибрежное мелководье, активный волновой режим вод
4	0,032	0,439	НС	Среднесоленая вода с двумя водными потоками	Промоины разрывных течений: прибрежное мелководье, периодический активный потоковый режим вод
5	0,037	0,459	ПС(2)у	Застойная соленая морская вода (лагуна)	Лагуна, залив с приливным воздействием, постоянный слабо активный волновой режим вод
6	0,042	0,480	ПМ(2)	Двухпотоковая гидродинамика в соленых морских глубинах	Подводные желоба: глубоководный шельф, активный гидродинамический потоковый режим вод

Проведенные изучения выборок расхода воды реки Ока для зимнего, весеннего и летне-осеннего сезонов позволили выявить сезонные различия в распределениях одной гидрографической системы. На основании данных расхода воды с 1883 года по 1996 год была рассмотрена выборка зимне-летне-осеннего сезона с расходом воды до 250 м<sup>3</sup>/с в количестве 158 значений и среднем 141 м<sup>3</sup>/с. Получена тетрамодалная гистограмма относительных величин (рис. 4), по которой определена константа  $\chi=12,9$

при первой моде  $95,17 \text{ м}^3/\text{с}$  и вычислены математические ожидания:  $\mu_1=0,382$ ;  $\mu_2=0,405$ ;  $\mu_3=0,43$ ;  $\mu_4=0,455$ , соответствующие состояниям процессов: ПС; ПМ; НС и ПС(2)у. По рис. 4 заметно, что крайние моды выражены слабо, зато средние – ПМ и НС наиболее вероятны. Более детальный анализ показал, что состояние ПМ проявляется зимой, а НС – летом-осенью. Данный факт объясняется тем, что увеличение расхода воды зимой происходит вследствие изменения только одного, внешнего  $t$ -параметра: увеличение атмосферной температуры, которая влечет за собой таяние льда, снега как вдоль реки, так и вдоль её притоков. Летом же, к внешним осадкам подключается интенсивное испарение влаги реки и её притоков обуславливающее изменение внутреннего  $t$ -параметра.



*Рис. 4. Гистограмма распределения относительной величины расхода воды в сток реки Ока в зимне-летне-осенний сезон.*

Форма статистического распределения весеннего расхода воды трехмодальна. Причем, выборка состоит из 84 значений с данными расхода воды от  $140 \text{ м}^3/\text{с}$  до  $1290 \text{ м}^3/\text{с}$ , константа  $\chi=12,9$  при первой моде  $383,17 \text{ м}^3/\text{с}$ , математические ожидания:  $\mu_1=0,382$ ;  $\mu_2=0,42$ ;  $\mu_3=0,46$ , соответствующие состояниям процессов: ПС; НС\* и ПС(2)у. Во время весеннего половодья доминирующим внешним фактором изменения расхода воды рек является поступление воды с их притоков. Поэтому в распределении проявляется одномерное состояние НС\*.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках универсальной кинематической теории преобразования открытых систем описываются причина и условия образования полимодального распределения интенсивностей различной природы. Процессы преобразования систем при внешнем воздействии могут быть различны, но во всех случаях интенсивности процессов контролируются временными параметрами – отношением внутреннего времени трансформации элементов, характеристик системы к внешнему времени воздействия на систему. Независимые временные параметры в кинематическом представлении

образуют ортогональную трехмерную систему координат: с внутренним временем преобразования систем и двумя внешними периодами воздействия. На основании двухпараметрической системы, в которой параметры могут быть переменными, либо постоянными и двух приведенных условий реализации процессов преобразования определены три базовых состояния процессов: пропорционально-стабильное (ПС<sub>6</sub>); пропорционально-мобильное (ПМ<sub>6</sub>); непропорционально-стабильное (НС<sub>6</sub>). Базовые состояния являются векторами во временной системе координат, а их модули и инвариантные углы определяются иррациональными константами «золотой» пропорции:  $\Phi$  и  $\phi$ . Используя правила скалярного произведения векторов и выведенного уравнения унификации вычисления математических ожиданий (мод) интенсивностей преобразования систем, на основании вычисленных базовых состояний были определены семь констант-аттракторов состояния процессов с одно-и-двухмерным внешним воздействием: ПС; ПМ\*; ПМ; НС\*; НС; ПС(2)<sub>x</sub>; ПС(2)<sub>y</sub>. В полимодальном распределении интенсивностей преобразования любой системы каждая мода соответствует одной из семи устойчивых состояний.

Как было выше сказано, инвариантность состояний обусловлена константами «золотой» пропорции. В природе «золотая» пропорция (отношение большего к меньшему пропорционально отношения целого к большему, равным 1, 618...) встречается везде: в пропорциях человеческого тела, кровеносной системе организма, в растительном мире, в атомно-молекулярных отношениях, в космосе и т.д. Данное сечение даже может служить базисом в информационных системах. Например, в работе [16] представлены новые информационные и арифметические основы компьютерных и измерительных систем, базирующие на кодах «золотой» пропорции, а также «золотой» троичной зеркально-симметричной арифметике. Очевидно, что в основе процессов преобразования, структуризации сложных систем лежит константа «золотой» пропорции. Она «проявляет себя» в качестве «стандартизатора-гармонизатора» эволюции естественных процессов.

Многочисленные результаты эмпирических исследований подтвердили валидность вычисленных констант-аттракторов, соответствующих статистическим модам интенсивностей устойчивых процессов. Кинематический смысл этих констант позволяет перенести вычисленные статистические моды интенсивностей процессов преобразования на любую эволюционирующую систему и понять причину её настоящего состояния с перспективой дальнейшей плановой трансформации.

Таким образом, распределение интенсивностей преобразования любой открытой системы с внешним воздействием – полимодально, вследствие того, что все состояния процессов преобразования систем, связанных с постоянной «золотой» пропорцией, соответствуют определенным модам. Устойчивые состояния процессов интенсивностей преобразования контролируются отношением внутреннего периода трансформации системы к внешнему временному параметру воздействия.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Георгиевский В.Ю., Лобанова А.Г., Молчанова Т.Г., Грек Е.А., Гуревич Е.В., Георгиевский Д.В. Стандарт организации «Росгидромет» 52.08.41-2017. Основные гидрогеологические характеристики при нестационарности временных рядов, обусловленной влиянием климатических факторов. Рекомендации по расчету. – 2017. – С-П. ФБГУ «ГГИ». – 42 с. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293738/4293738978.pdf> (дата обращения 20.01.2022).

2. Мельник И.А. Соотношение временных параметров геохимического процесса наложенного эпигенеза и «золотое сечение» // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 5. – С. 30–39.

3. Мельник И.А. Универсальная причина в образовании дискретных состояний статистических распределений интенсивностей различной природы // Журнал Формирующихся Направлений Науки. – 2016. – № 4 (12, 13). – С. 20-26. URL: <http://www.unconv-science.org/pdf/IJUS-v12-2016.pdf> (дата обращения 20.01.2022).

4. Ashley G.M. Interpretation of polymodal sediments // The Journal of Geology. – 1978. – No. 86 (4). P. 411–421. – URL: <https://doi.org/10.1086/649710> (дата обращения 20.01.2022).

5. Binghe Yan 1, Yulan Zhang, Shuying Zang, Qiang Chen, Li Sun. Distributions of Particle Sizes in Black Soil and Their Environmental Significance in Northeast China // Sustainability. – 2021. – No. 13. – P. 3706. – URL: <https://doi.org/10.3390/su13073706> (дата обращения 20.01.2022).

6. Carlota M.T., Gavin W.H., Dimitrios A.L. A novel methodology to study polymodal particle size distributions produced during continuous wet granulation // International Journal of Pharmaceutics. – 2017. – No. 519. – P. 230-239. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517317300248?via%3Dihub> (дата обращения 20.01.2022).

7. David G.B., Marian V.L., Robert S.D., Jared W.S., Steven C.C. A Review of Boron-Bearing Minerals (Excluding Tourmaline) in the Adirondack Region of New York State // Minerals. – 2019. – No. 9. – P. 644. – DOI: 10.3390/min9100644. – URL: <https://doi.org/10.3390/min9100644> (дата обращения 20.01.2022).

8. Elioenai L.B., Pedro H.G., Marcela S.L., Agata Mayara P.P., Bruna Horta B.K., Guilherme F.G., Gilbert S. Analysis of Milling Efficiency of the Vanadis and Tool Steel with Additions of Vanadium and Molybdenum Carbides // Materials Research. – 2021. – No. 24 (5). – P. 14 – e20210054. – DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2021-0054>.

9. Fedoseev V.B., Fedoseeva E.N. Formation of Bi-and Polimodal distributions and the Nonostwald behavior of Disperse System // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2019. – No. 92 (5). – P. 1191-1200. – URL: <https://www.springerprofessional.de/en/formation-of-bi-and-polymodal-distributions-and-the-non-ostwald-/17173470> (дата обращения 20.01.2022).

10. Lakk M., Yarishkin O., Baumann J. M., Iuso A., Križaj D. Cholesterol regulates polymodal sensory transduction in Müller glia // Glia. – 2017. – No. 65. – P. 2038–2050. – DOI: 10.1002/glia.23213.

11. Lakk M., Young D., Baumann J.M., Jo A.O, Hu H., Križaj D. Polymodal TRPV1 and TRPV4 Sensors Colocalize but Do Not Functionally Interact in a Subpopulation of Mouse Retinal Ganglion Cells // Front. Cell. Neurosci. – 2018. – No. 12. – P. 353. – DOI: 10.3389/fncel.2018.00353. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fncel.2018.00353/full> (дата обращения 20.01.2022).

12. Lamperta A., Tlustý T. Resonance-induced multimodal body-size distributions in ecosystems. – PNAS. – 2013. – No. 110 (1). P. 205-209. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.1211761110> (дата обращения 20.01.2022).

13. Matías J.M., Manuela P., Jorge A.E. Long-term study of the life cycle of the freshwater snail *Heleobia parchappii* (Mollusca: Cochliopidae) in a lentic environment in Argentina // Limnetica. – 2016. – No. 35 (1). – P. 49-60. – DOI: 10.23818/limn.35.04. – URL: <https://www.limnetica.com/es/long-term-study-life-cycle-freshwater-snail-heleobia-parchappii-mollusca-cochliopidae-lentic> (дата обращения 20.01.2022).

14. Paul L.C. van Geert. Dynamic Systems, Process and Development // Human Development. – 2019. No. 63. – P. 153-179. – DOI: 10.1159/000503825. – URL: <https://www.karger.com/Article/FullText/503825> (дата обращения 20.01.2022).

15. Rajesh A., Prakash K.Sh., Hari B.S., Mirza J.B., Pradeep K. Hydrochemistry and sediment characteristics of polar periglacial lacustrine environments on Fisher Island and Broknes Peninsula, East Antarctica // Advances in Polar Science. – 2013. – No. 4 (24). – P. 281-295. – URL:

<http://journal.polar.org.cn/EN/10.3724/SP.J.1085.2013.00281> (дата обращения 20.01.2022).

16. Stakhov A.P. Numeral Systems with Irrational Bases for Mission-Critical Applications. – 2017. – P. 284. – URL: <https://doi.org/10.1142/10671>.

17. Stakhov A.P. The “Golden” Number Theory and New Properties of Natural Numbers // British Journal of Mathematics and Computer Science. – 2015. – No. 11 (6). – P. 1-15. – Article no. BJMCS.21385. – URL: <http://www.science-domain.org/> (дата обращения 20.01.2022).

## **POLYMODAL FORM OF STATISTICAL DISTRIBUTIONS OF INTENSITY TRANSFORMATION PROCESSES IN OPEN SYSTEMS**

**Melnik I.A.** (Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), prof.)

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation;

**[melnik@tpu.ru](mailto:melnik@tpu.ru)**

**Abstract.** Studies by numerous authors have shown that the statistical distribution of the recorded transformation parameters of any complex open system is polymodal. Obviously, the reason for the polymodality of the distributions under study is universal. The purpose of this work is the theoretical substantiation and empirical confirmation of the following concept - any open and complex evolving system with external influence is characterized by the intensity of its transformation, the statistical distribution of which is polymodal and each mode corresponds to certain stable states of the transformation process. This paper presents a universal kinematic theory of the formation of a polymodal distribution of transformation intensities of open systems of various natures. The processes of transformation of systems with external influence can be different, but in all cases, the intensity of the processes is described by time parameters - the ratio of the internal time of transformation of elements, characteristics of the system to the external time of influence on the system. Three basic stable states of processes are defined: proportionally stable; proportionally mobile and disproportionately stable. The base states are the state vectors of stable transformation processes in the time coordinate system, and their modules and invariant angles are determined by the irrational constants of the "golden" proportion. Using the rules of the scalar product of vectors and the derived equation for calculating unified mathematical expectations (modes) of the system transformation intensities, based on the calculated basic states, seven constant-attractor states of processes with one- and two-dimensional external influences were determined. In the polymodal distribution of transformation intensities of any system, each mode corresponds to one of the seven states. Empirical confirmation of this theory is presented.

**Keywords:** Open systems, complex systems, polymodal distribution, «golden» proportion, intensity of systems transformation, attractor of state, kinematic theory.

## **REFERENCES**

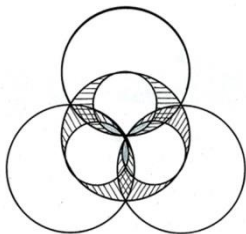
1. Georgievskij V.YU., Lobanova A.G., Molchanova T.G., Grek E.A., Gurevich E.V., Geogievskij D.V. Standart organizaczii «Rosgidromet» 52.08.41-2017. Osnovny`e gidrogeologicheskie kharakteristiki pri nestacionarnosti vremenny`kh ryadov, obuslovennoj vliyaniem klimaticheskikh faktorov [Standard of the organization "Roshydromet" 52.08.41-2017. Main hydrogeological characteristics with non-stationarity of time series due to the influence of climatic factors]. Rekomendacii po raschetu. 2017, S-P. FBGU «GGI», 42 s. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293738/4293738978.pdf> (accessed on 20.01.2022).

2. Mel'nik I. A. Sootnoshenie vremenny`kh parametrov geokhimicheskogo processa nalozhennogo e`pigeneza i «zolotoe sechenie» [The ratio of time parameters of the geochemical process of superimposed epigenesis and the "golden section"]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanyh i gazovyh mestorozhdenij*. 2015. No. 5. P. 30-39.

3. Mel'nik I.A. Universal'naya prichina v obrazovanii diskretny`kh sostoyanij statisticheskikh raspredelenij intensivnostej razlichnoj prirody [A universal cause in the formation of discrete states of statistical distributions of intensities of various nature]. *ZHurnal Formiruyushchihhsya Napravlenij Nauki*. 2016. No. 4 (12, 13). P. 20-26. URL: <http://www.unconv-science.org/pdf/IJUS-v12-2016.pdf> (accessed on 20.01.2022).

4. Ashley G. M. Interpretation of polymodal sediments. *The Journal of Geology*. 1978. No. 86 (4). P. 411-421. URL: <https://doi.org/10.1086/649710> (accessed on 20.01.2022).
5. Binghe Yan 1, Yulan Zhang, Shuying Zang, Qiang Chen and Li Sun. Distributions of Particle Sizes in Black Soil and Their Environmental Significance in Northeast China. *Sustainability*. 2021. NO. 13. P. 3706. <https://doi.org/10.3390/su13073706> (accessed on 20.01.2022).
6. Carlota Mendez Torrecillasa, Gavin W. Halberta, Dimitrios A. Lamprou. A novel methodology to study polymodal particle size distributions produced during continuous wet granulation. *International Journal of Pharmaceutics*. 2017. No. 519. P. 230-239. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517317300248?via%3Dihub> (accessed on 20.01.2022).
7. David G. Bailey, Marian V. Lupulescu, Robert S. Darling, Jared W. Singer, Steven C. Chamberlain. A Review of Boron-Bearing Minerals (Excluding Tourmaline) in the Adirondack Region of New York State. *Minerals*. 2019. No. 9. P. 644. DOI :10.3390/min9100644 <https://doi.org/10.3390/min9100644> (accessed on 20.01.2022).
8. Elioenai Levi Barbedoa, Pedro Henrique Gonçalves, Marcela Silva Lamogliaa, Agata Mayara Paula Pontesa, Bruna Horta Bastos Kuffnera, Guilherme Ferreira Gomesa, Gilbert Silvaa. Analysis of Milling Efficiency of the Vanadis 8 Tool Steel with Additions of Vanadium and Molybdenum Carbides. *Materials Research*. 2021. No. 24 (5). e20210054. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2021-0054> (accessed on 20.01.2022).
9. Fedoseev V.B., Fedoseeva E.N. Formation of Bi-and Polimodal distributions and the Nonostwald behavior of Disperse System. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2019. No. 92 (5). P. 1191-1200. <https://www.springerprofessional.de/en/formation-of-bi-and-polymodal-distributions-and-the-non-ostwald-/17173470> (accessed on 20.01.2022).
10. Lakk M., Yarishkin O., Baumann J. M., Iuso A. and Križaj D. Cholesterol regulates polymodal sensory transduction in Müller glia. *Glia*. 2017. No. 65. P. 2038-2050. DOI: 10.1002/glia.23213
11. Lakk M., Young D., Baumann J.M., Jo AO, Hu H and Križaj D Polymodal TRPV1 and TRPV4 Sensors Colocalize but Do Not Functionally Interact in a Subpopulation of Mouse Retinal Ganglion Cells. *Front. Cell. Neurosci*. 2018. No. 12. P. 353. DOI: 10.3389/fncel.2018.00353 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fncel.2018.00353/full> (accessed on 20.01.2022).
12. Lamperta A., Tsvi Tlusty. Resonance-induced multimodal body-size distributions in ecosystems, 2013. Vol. 110. No. 1. P. 205-209. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.1211761110> (accessed on 20.01.2022).
13. Matías J. Merlo, Manuela Parietti and Jorge A. Etchegoin. Long-term study of the life cycle of the freshwater snail *Heleobia parchappii* (Mollusca: Cochliopidae) in a lentic environment in Argentina. *Limnetica*. 2016. No. 35 (1). P. 49-60. DOI: 10.23818/limn.35.04 <https://www.limnetica.com/es/long-term-study-life-cycle-freshwater-snail-heleobia-parchappii-mollusca-cochliopidae-lentic> (accessed on 20.01.2022).
14. Paul L.C. van Geert. Dynamic Systems, Process and Development. *Human Development*. 2019. No. 63. P. 153-179. DOI: 10.1159/000503825. URL: <https://www.karger.com/Article/FullText/503825> (accessed on 20.01.2022).
15. Rajesh Asthana, Prakash Kumar Shrivastava, Hari Bahadur Srivastava, Mirza Javed Beg and Pradeep Kumar. Hydrochemistry and sediment characteristics of polar periglacial lacustrine environments on Fisher Island and Broknes Peninsula, East Antarctica. *Advances in Polar Science*. 2013. No. 4 (24). P. 281-295. URL: <http://journal.polar.org.cn/EN/10.3724/SP.J.1085.2013.00281> (accessed on 20.01.2022).
16. Stakhov A.P. Numeral Systems with Irrational Bases for Mission-Critical Applications. 2017. P. 284. URL: <https://doi.org/10.1142/10671> (accessed on 20.01.2022).
17. Stakhov A.P. The “Golden” Number Theory and New Properties of Natural Numbers. *British Journal of Mathematics and Computer Science*. 2015. No. 11 (6). P. 1-15. Article no. BJMCS.21385. URL: <http://www.sciencedomain.org/> (accessed on 20.01.2022).

УДК 521.131 + 524.47



## МНОГОСЛОЙНЫЕ МОДЕЛИ ШАРОВЫХ ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЙ. ЧАСТЬ 2

Смутьский И.И. (д.ф.-м.н., проф.)

Институт криосферы Земли, ТюмНЦ СО РАН, Федеральный  
Исследовательский Центр, г. Тюмень, РФ; [jmulsky@mail.ru](mailto:jmulsky@mail.ru)

**Аннотация.** В результате решения задачи гравитационного взаимодействия  $N$  тел исследована эволюция 15-слойной структуры. Рассмотрены процессы объединения тел в созвездия внутри шарового скопления и рассмотрены относительные движения в них. Эти исследования выполнены в безразмерном виде. В результате масштабного перехода результаты пересчитаны к условиям шаровых скоплений. Дополнительно рассмотрены структуры с 24-я и 34-я слоями. Определены периоды вращения и температуры слившихся звёзд. Уделено внимание уменьшения массы центрального тела в рассмотренных моделях шаровых скоплений. С этой целью использованы многослойные модели центрального тела. Они позволяют уменьшить массу центрального тела на 1-2 порядка.

**Ключевые слова:** задача  $N$  тел, решение, шаровые звездные скопления, свойства

### 1. ВВЕДЕНИЕ

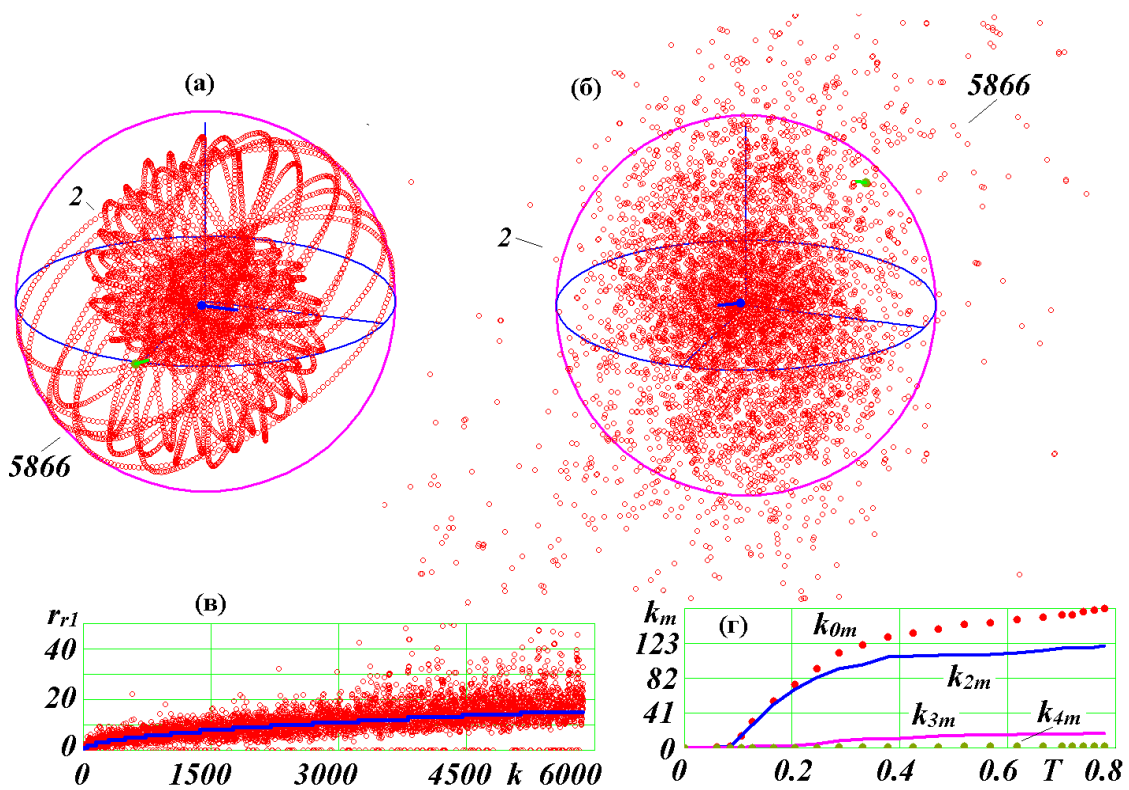
В первой части статьи [6] рассмотрен алгоритм и программа построения многослойных моделей шаровых звездных скоплений. Исследована эволюция 5- и 10-слойных структур. Рассмотрены траектории движения тел, их столкновения и слияния. Далее исследуется эволюция 15-слойной структуры. Результаты этих исследований выполнены в безразмерном виде. Осуществляется масштабный переход к условиям шаровых скоплений. Рассмотрены в размерном виде характеристики и свойства исследованных моделей шаровых скоплений.

### 2. ЭВОЛЮЦИЯ 15-СЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ

**2.1. Общие изменения.** В связи с тем, что с увеличением количества тел время расчета эволюции структуры становится чрезмерно большим, 15-слойная структура была создана с меньшим начальным количеством тел в первом слое, а именно  $N_{3,1} = 49$ . В этом случае абсолютная масса периферийного тела была в 2.02 раза больше, чем в предыдущих структурах. Эта структура, созданная в файле MS15c49b.dat, представлена на рис. 1а. Все тесные сближения в самопересечениях линии образования устранены изменением количества тел в соответствии с (21) в [6]. Количество тел в слоях изменяется от 47 в первом слое до 733 в 15-ом слое, полуоси от  $a_1 = 0.0118$  – до  $a_{15} = 0.1573$ , периоды от  $P_1 = 0.0100$  до  $P_{10} = 0.3916$ . Общее количество тел  $N = 5866$ .

После 77.9 обращений тел первого слоя, т.е. при  $T = 0.779$  вид структуры представлен на рис 1б. К моменту  $T = 0.2$  еще сохраняются элементы первоначальной организации структуры, к моменту  $T = 0.3$  они полностью исчезают. К моменту  $T = 0.4$  структура приобретает вид, который дальше практически не изменяется. Разброс расстояний тел на рис. 1в ограничен 50 радиусами первого слоя. Около 20 тел выброшено на большее расстояние, наибольшее из которых равно  $r_{r1} = 168$  для тела 5336.

К моменту  $T = 0.779$  было 164 столкновения. При этом образовалось 120 тел двойной массы, 17 тел – тройной, и 2 тела – четверной. Кроме того, было 4 столкновения с центральным телом.



**Рис. 1.** Пятнадцатислойная структура MS15c49b.dat и ее эволюция. Вид (б) – в момент  $T = 0.779$ . На виде (в) линиями показаны расстояния тел  $r_{r1}$  от центра масс в момент  $T = 0$ . На виде (г) показана динамика столкновений:  $k_{0m}$  – количество столкновений;  $k_{2m}$ ,  $k_{3m}$  и  $k_{4m}$  – количество образовавшихся тел с массой равной  $2m_1$ ;  $3m_1$  и  $4m_1$ , соответственно.

Динамика количества столкновений представлена на рис. 1г. Для интервала  $T = 0.085 \div 0.286$  скорость количества столкновений была  $v_{imp} = 547$  столкновений на 100 обращений тела первого слоя, а на втором  $T = 0.378 \div 0.779$  средняя скорость  $v_{imp} = 85$ . Таким образом, на втором участке скорость уменьшилась в 6.4 раза.

При сравнении с 10-слойной структурой скорость на втором участке 15-слойной структуры в 1.23 раза больше. Скорость, приходящаяся на одно тело  $v_{imp1} = 1.45 \cdot 10^{-2}$ , также больше в 1.14 раза.

**2.2. Траектории отдельных тел.** На рис. 2 представлены траектории центрального тела 1, тела первого слоя 25, тела 7-ого слоя 1325 и тела 15-ого слоя 5660. Эти расчеты выполнялись на интервале  $T = 0.597 \div 0.853$  с шагом  $dT = 1 \cdot 10^{-7}$ . Траектория центрального тела 1 (рис. 2а) является нерегулярной и находится в области расстояний от центра масс  $r < 0.003$ .

Орбита тела 25 непрерывно изменяется в пространстве. Её эксцентриситет также изменяется: до  $T = 0.77$  уменьшается, а далее увеличивается. Среднее значение эксцентриситета  $e = 0.69$ . Период претерпевает аналогичные изменения, а в среднем он равняется  $0.83P_1$ , где  $P_1 = 0.01$  – исходный период. После  $T = 0.77$  происходит

существенное изменение плоскости орбиты (рис. 2в), возрастает её эксцентриситет, период, а также увеличивается её изменение в пространстве.

Орбита тела 1325 (рис. 2б) является эллипсом с эксцентриситетом  $e = 0.408$ . Полуось орбиты в 1.1 раз превышает  $a_7 = 0.073$ , где  $a_7$  – полуось исходной орбиты, а период в 0.95 раз меньше  $P_7 = 0.1645$ . Как следует из рис. 2б и рис. 2г, орбита существенно изменяется в течение одного обращения.

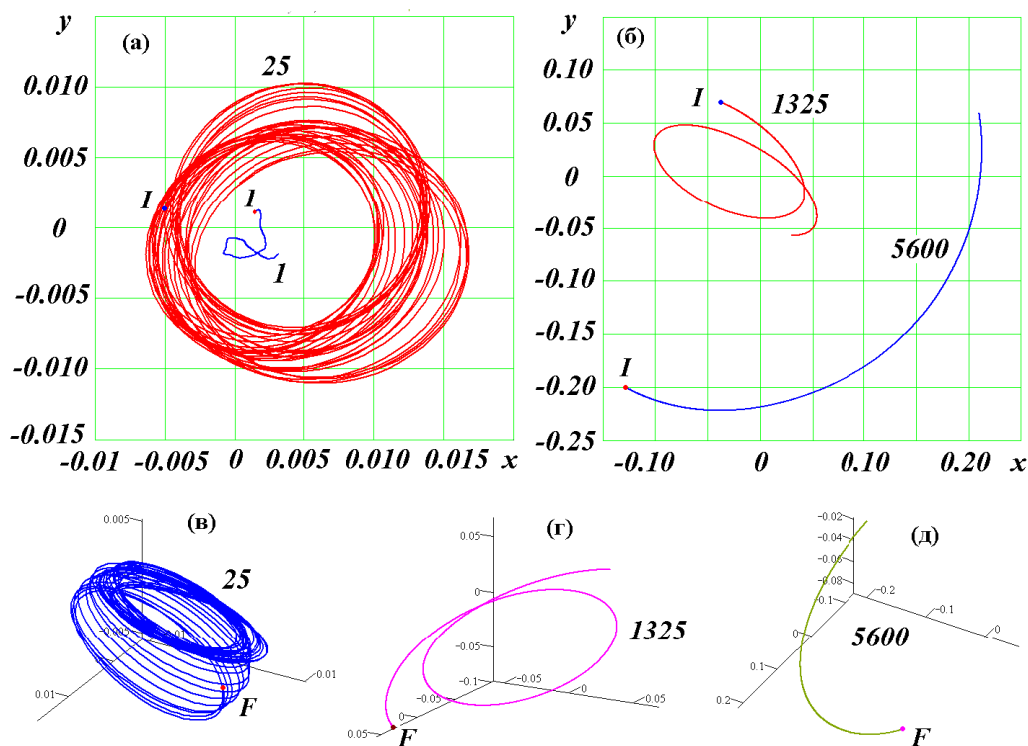


Рис. 2. Траектории центрального тела 1 и периферийных тел 25, 1325 и 5600 в конечный период ( $T = 0.597 \div 0.853$ ) эволюции структуры MS15c99b.dat (а, б): на видах в, г и д – трехмерные изображения траекторий; I и F – начальная и конечная точки траекторий.

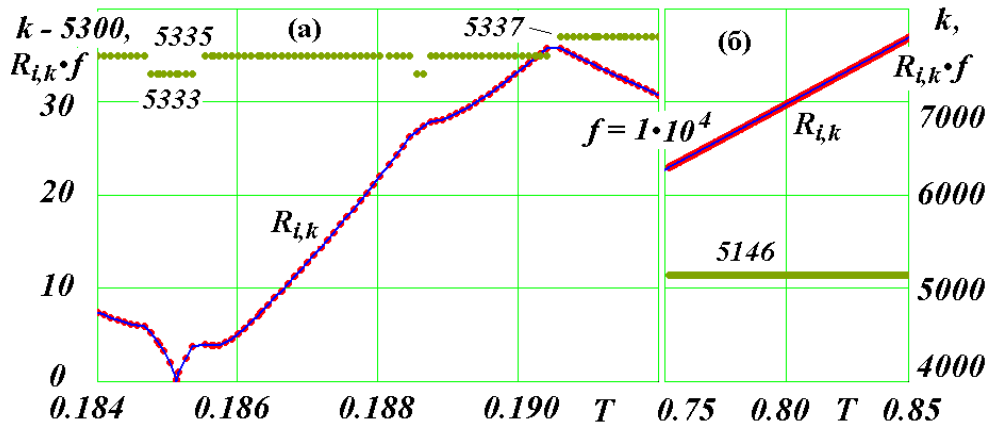
Орбита тела 5600 на рис. 2б и рис. 2д представлена частью, меньшей половины обращения тела вокруг центра масс. Расстояние тела от центра равно  $r = 0.238$  и практически не изменяется. Небольшая её эллиптичность на рис.13б обусловлена наклоном орбиты к плоскости  $xy$ , как это видно из рис. 2д. Расстояние  $r$  составляет 1.5  $a_{15}$ , поэтому период обращения тела 5600 больше исходного периода  $P_{15} = 0.3916$ .

Как уже отмечалось, расстояние  $r_{r1}$  примерно для 20 тел было вне пределов рис. 1в. Для большей части этих тел по алгоритму (29) – (36) в [6] были определены виды траекторий. У тел 5336, 543, 264, 5146, отдаленные на расстояния  $r_{r1} = 168, 125, 115, 107$ , соответственно, траектории были гиперболами, т.е. они выбрасываются из структуры. Всего было выброшено 6 тел. При этом у двух тел 5146 и 264 эксцентриситеты были 1.045 и 1.0098, соответственно, т.е. близки к 1, что характеризует параболическую орбиту. У тела 5594, отдаленного на  $r_{r1} = 94$  орбита была эллипсом с эксцентриситетом  $e = 0.894$ . Остальные отдаленные тела также имеют эллиптические орбиты.

**2.3. Сближения удаленного тела.** Были исследованы сближения наиболее удаленного тела 5336 с другими телами (рис. 3). На первом участке  $T = 0.184 \div 0.193$

(вид а) оно вначале близко проходит у тела 5335, а затем начинается его сближение с телом 5333. В момент  $T = 0.1854$  расстояние между телами  $R_{ik}$  становится равным  $4.05 \cdot 10^{-6}$ , что составляет 2.15 радиуса тела  $R_1$ , т.е. расстояние между их поверхностями равно  $0.15 \cdot R_1$ . При этом скорости тел увеличиваются до  $v = 5.53$  у тела 5336 и  $v = 5.37$  – у тела 5333. В начальный момент времени  $T = 0$  скорости этих тел были равны 2.53. После сближения тела удаляются друг от друга и их скорости в конечный момент  $T = 0.779$  уменьшаются до  $v = 2.77$  и 1.87, соответственно.

На конечном участке  $T = 0.75 \div 0.85$  видно, что тело 5336 непрерывно удаляется от тела 5146, которое также по гиперболической орбите удаляется от структуры.



**Рис. 3.** График сближений тела  $i = 5336$  с телами  $k$  на расстояние  $R_{i,k}$  за количество шагов интегрирования  $KI3 = 400$  с переменным шагом ( $KI4 = 3$ ) на первом интервале  $T = 0.184 \div 0.193$  (а) и на втором участке  $T = 0.75 \div 0.85$  (б). Безразмерное расстояние  $R_{i,k}$  на графике увеличено в  $f = 1 \cdot 10^4$  раз, а номер тел  $k$  на виде (а) уменьшен на 5300.

Расстояние между ними увеличивается со средней скоростью 1.38 почти по линейному закону. Тела движутся примерно в одном и том же направлении: угол между их скоростями равен  $8.27^\circ$ .

Что касается тела 5333, то после удаления от тела 5336 скорость его, как уже отмечалось, уменьшилась более существенно, и его движение проходит по эллиптической орбите с эксцентриситетом  $e = 0.597$ . В момент  $T = 0.779$  оно находится на расстоянии  $r_{r1} = 13.87$ .

Итак, выброс тела 5336 произошел из-за его ускорения при сближении с телом 5333 на расстояние  $r = 2.15R_1$ .

### 3. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУР

**3.1. Профили скорости.** На рис. 4а и рис. 4б точками показаны профили скорости пятислойной структуры MS05c99e.dat в конечный момент времени  $T = 1.96$ , а линиями – в  $T = 0$ . На рис. 4а скорости  $v$  показаны в зависимости от номеров тел  $k$ , а на рис. 4б – в зависимости от относительного радиуса  $r_{rN2} = r/r_{N2}$ . В начальный момент времени  $T = 0$  отрезками линий отмечены скорости в пяти слоях (рис. 4а). Они ступенчато уменьшаются от первого слоя до последнего пятого слоя. После взаимодействия тел в течение 196 обращений тел первого слоя распределение скоростей уже не имеет первоначальной ступенчатости. Скорости распределились вокруг первоначального профиля скорости. При этом большая часть скоростей

сохраняет первоначальную тенденцию уменьшения величины скорости с увеличением номера тела  $k$ .

Нулевые значения скоростей на горизонтальной оси отмечают тела, которые слились с другими и их номера удалены из структуры. Наибольшую скорость  $v = 14.33$  имеет тело 76, которое удалено от центра масс на расстояние  $r_{rN2} = 0.082$ , или  $r_{r1} = 0.41$ , т.е. оно находится вблизи центрального тела. Всего имеется 8 тел, скорости которых превышают пределы графика  $v = 12$ .

Распределение скорости по расстояниям тел  $r_{rN2}$  (рис. 4б) имеет более компактный вид. На участке  $r_{rN2} \leq 1$  скорости тел равномерно распределены вокруг начального профиля, представленного отрезками. Рассмотрим причины отклонения скоростей от начального профиля. Вначале орбиты являются окружностями, затем они становятся эллипсами. В перицентрах орбит тела имеют большие скорости, а в апоцентрах – меньшие. Кроме того, у части тел полуоси орбит становятся меньше, а скорости – больше. У другой части тел, наоборот, полуоси возрастают, а скорости – уменьшаются. По этим двум причинам появляются разброс скорости относительно начального профиля. Как видно, действие этих двух причин симметрично относительно него.

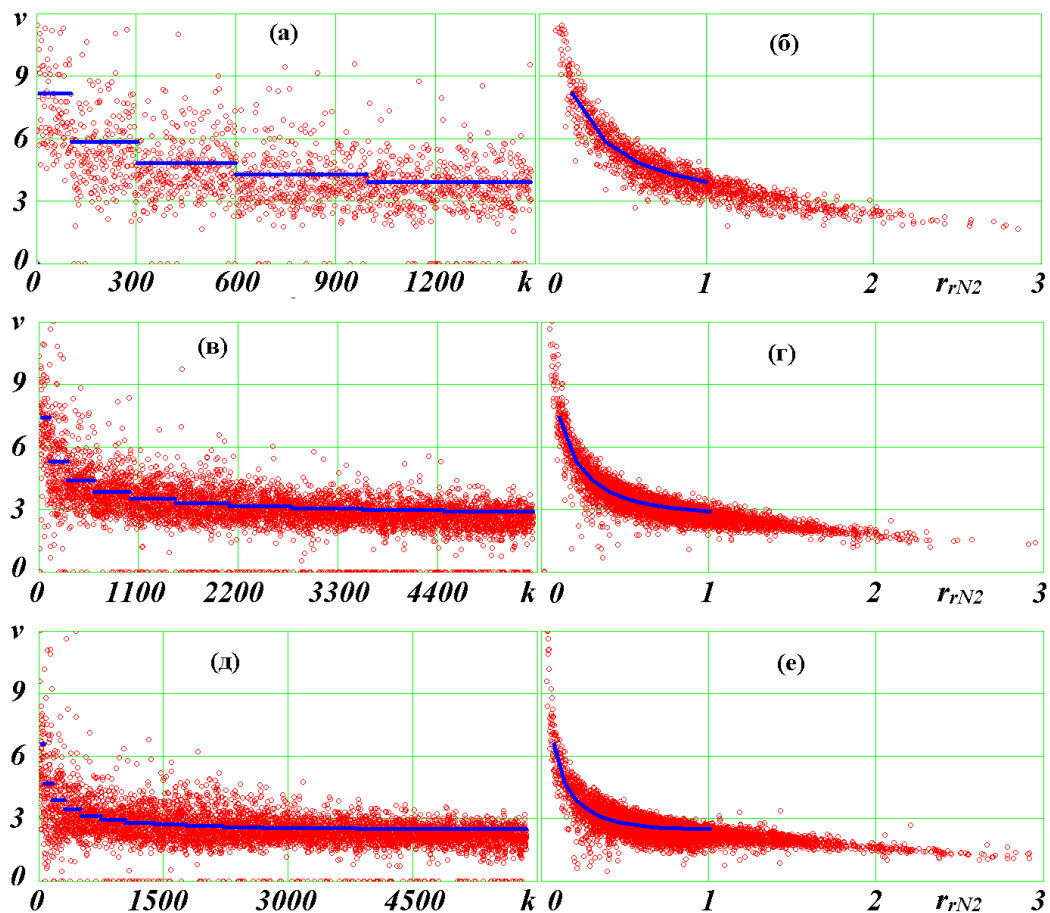


Рис. 4. Распределения скоростей тел  $v$  по их номерам  $k$  и по их относительным расстояниям от центра масс  $r_{rN2}$  для структур из 5-и (а, б) 10-и (в, г) 15-и (д, е) слоев.

Скорость тел в начальный момент согласно (12) – (13) в [6] равна

$$v = \sqrt{v_r^2 + v_t^2} = v_p \sqrt{2\alpha_1(1 - R_p/r) + 1}, \quad (1)$$

где  $\alpha_1$ ,  $v_p$ ,  $R_p$  определяются зависимостями (4) – (9) в [6]. Формула (1) для круговых орбит  $r = R_p$  дает скорости тел в начальный момент. А для произвольных расстояний  $r$  – для всех тел. Вышеотмеченные параметры зависят от массы тел, находящихся внутри радиуса  $r$ , а также от количества тел и их массы на радиусе  $r$  (см. формулы (6) и (7) в [6]). Поэтому выражение (1) можно использовать для оценки масс звезд в шаровых скоплениях по их скоростям.

Вне расстояний графика на рис. 4б находится только одно тело 1434 с  $r_{rN2} = 3.14$ . Его скорость  $v = 1.572$  ложится на ту же зависимость  $v(r_{rN2})$ , что и для других тел при расстояниях  $r_{rN2}$  близких к 3.

Распределения скоростей десятислойной структуры по номерам тел (рис. 4в) имеет более компактный вид, чем для пятислойной. Скорости более равномерно распределены вокруг начального профиля для слоев от 1 до 8. Распределение скоростей по расстояниям (рис. 4г) также более компактное по сравнению с распределением по номерам тел. Наибольшую скорость  $v = 17.7$  имеет тело, находящееся на расстоянии  $r_{rN2} = 0.0227$ , или  $r_{r1} = 0.227$ , т.е. это тело находится почти в два раза ближе к центру, чем в пятислойной структуре. Всего 4 тела превышают пределы скорости на графике. Пределы графика по расстояниям превышают 30 тел, с наибольшим  $r_{rN2} = 60$  у тела 1575. Его скорость  $v = 9.735$  не ложится на зависимость  $v(r_{rN2})$  для расстояний близких к 3. Начиная с  $r_{rN2} = 6$ , тела имеют возрастающий профиль скорости. Его можно представить усредненной зависимостью

$$v = -0.526 + 0.171 \cdot r_{rN2} \quad \text{при} \quad r_{rN2} > 6. \quad (2)$$

Эти тела по гиперболическим орбитам покидают структуру.

У 15-слойной структуры еще более компактное распределение тел по их номерам (рис. 4д). Оно сохраняется до 14 слоя. Скорости более равномерно распределены вокруг начального профиля скорости.

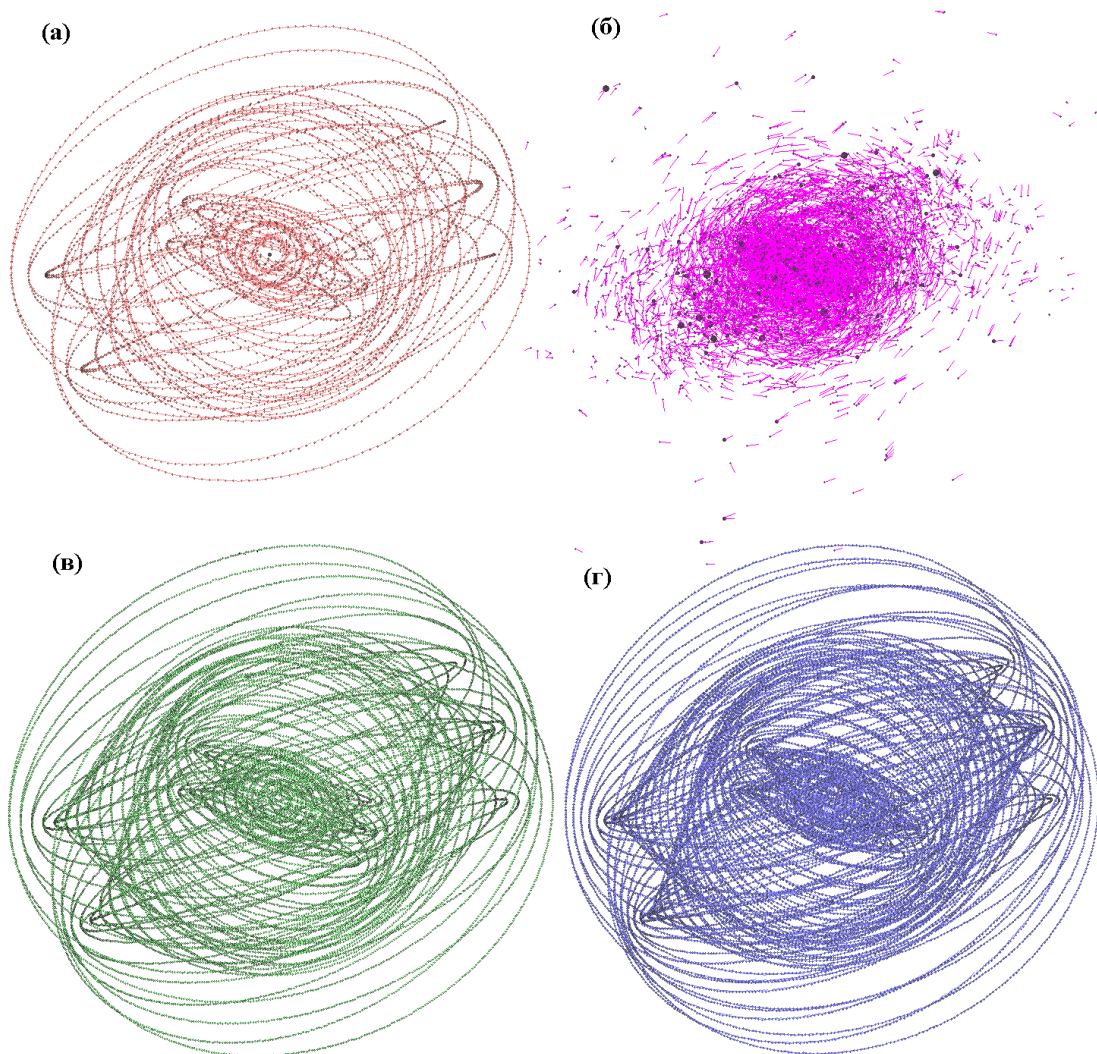
Также более компактным является распределение скоростей по расстояниям (рис. 4е). Однако середина распределения заметно отклоняется от исходного профиля скорости в области последних его слоев. Это отличие уже наблюдается для 10-слойной структуры на рис. 4г. В 15-слойной структуре наибольшую скорость  $v = 16.9$  имеет тело, находящееся на расстоянии  $r_{rN2} = 0.022$ , или  $r_{r1} = 0.33$ . Всего два тела превышают пределы скорости на графике. Пределы графика по расстоянию превышают около 30 тел с наибольшим  $r_{rN2} = 11.2$  у тела 5336. Его скорость  $v = 2.763$ . Начиная с  $r_{rN2} = 4.4$ , устанавливается возрастающий профиль скорости

$$v = -0.964 + 0.333 \cdot r_{rN2} \quad \text{при} \quad r_{rN2} > 4.4 \quad (3)$$

Представленные на рис. 4 профили скорости для разных структур в зависимости от номеров тел и в зависимости от их расстояний подобны, однако они отличаются количественными характеристиками. Эти количественные отличия видны по формулам (2) - (3) для восходящих участков профилей скорости. Из анализа профилей скорости по номерам тел в начальный момент времени (рис. 4 а, в, д) видно, что с увеличением количества слоев разность скорости между слоями уменьшается, и профиль  $v$

асимптотически приближается к горизонтали. Более того, в 14-ом слое (рис. 4д) скорость становится минимальной  $v = 2.524$ , а в 15-ом уже увеличивается. Это увеличение скорости тел прослеживается и в профиле скорости по расстояниям (рис. 4е) при  $r_{rN2} \approx 1$  для конечного момента времени  $T = 0.779$ .

С целью выяснения характера скорости при большом числе слоев были созданы структуры MS24c99b.dat с 24 слоями (рис. 5в) и MS34c49b.dat с 34 слоями (рис. 5г). Они имеют примерно одинаковое количество тел:  $N = 29701$  и  $29156$ , соответственно. В первой структуре количество тел в первом слое  $N_{3,1} = 99$ , а во второй –  $N_{3,1} = 49$ . Поэтому во второй структуре на 10 слоев больше при примерно одинаковом количестве тел  $N$ .



**Рис. 5.** Многослойные структуры в проекциях на горизонтальную плоскость  $xu$  при изображении программой *Galactica*: а, б – MS15c49b; в – MS24c99b; г – MS34c49b. На виде б показана 15-слойная структура в момент  $T = 0.779$  в уменьшенном в два раза масштабе: отрезки пропорциональны скоростям, а точки – массам.

На рис. 5 изображения структур получены с помощью программы *Galactica*. Они являются проекциями на плоскость  $xu$  структур, предварительно повернутых вокруг оси  $x$  на угол  $20^\circ$ . Тела в структурах показаны точками, а вектора скорости – отрезками. Чтобы не затенять изображения тел в 24-слойной и 34-слойной структурах, вектора

скорости уменьшены. Сгущения точек в этих структурах происходит в слоях, средние плоскости которых совпадают с линией зрения. В 15-слойной структуре в конечный момент времени  $T = 0.779$  (рис. 5б) увеличенными точками представлены тела с большими массами. Так как на графиках показаны проекции скоростей, то малая величина отрезков может быть у тел, скорость которых близка к перпендикулярю к плоскости  $xу$ . Совокупности тел с близкими по направлению скоростями могут быть созвездиями.

Все структуры на рис. 5 получены с индексом  $In_x = 1$ , т.е. все слои в них равномерно повернуты вокруг оси  $x$ . Как видно из изображений структур, с увеличением количества слоев форма структуры приближается к сфере: последняя структура (рис. 5г) от сферы практически не отличается.

При анализе профилей скорости этих структур выяснилось, что они подобны, и их можно обобщить в виде, представленном на рис. 6. По вертикальной оси отложена скорость тел  $v_{r1}$ . Это – скорость, отнесенная к максимальной скорости, т.е. к скорости в 1-ом слое  $v_1$ . А по горизонтальной оси – расстояние тел  $r_{r1}$ , отнесенное к полуоси  $a_1$  первого слоя. Номерами 1, 2 и 3 отмечены профили скорости 15-, 24- и 36-слойных структур. Все они ложатся на общую зависимость. Этой зависимостью определяются также профили скорости 5-слойной и 10-слойной структур. На рис. 6 они не показаны.

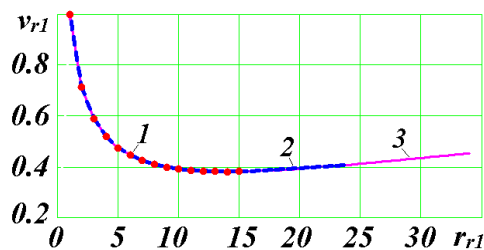


Рис. 6. Обобщенный профиль скорости в начальный момент времени для многослойных структур: 1 – MS15c49b, 2 – MS24c99b и 3 – MS34c49b.

Орбиты всех тел в рассматриваемых структурах являются окружностями, поэтому их скорости определяются выражением (9) в [6], в котором нужно положить  $r = R_p$  и  $v = v_p$ . Из (9) в [6] следует, что скорость  $v$  обратно пропорциональна  $\sqrt{r}$  и, согласно (6) и (16) в [6], пропорциональна  $\sqrt{m}$ , где  $m$  – масса тел, находящихся внутри сферы радиусом  $r$ . Поэтому с увеличением  $r$  происходит уменьшение скорости до тех пор, пока масса тел не возрастает настолько, что её влияние окажется преобладающим.

На восходящем участке рис. 6 скорость изменяется нелинейно, а среднее ее изменение происходит по закону:

$$v_{r1} = 0.333 + 3.582 \cdot 10^{-3} r_{r1} \quad \text{при } r_{r1} > 14. \tag{4}$$

Для представленных на рис. 6 структур 1, 2 и 3  $v_1 = 6.590, 5.396$  и  $4.485$ , соответственно. Эти скорости приведены в безразмерном виде. Они изменяются за счет того, что размерные скорости умножаются на коэффициент скорости  $k_v$ , который в соответствии с (26)-(27) в [6] определяется так:

$$k_v = 1/(A_m k_t), \tag{5}$$

Приведенные величины  $v_1$  изменяются пропорционально  $k_v$ . Отсюда следует, что обобщенный профиль скорости на рис. 6 справедлив и в размерном виде.

**3.2. Моменты количества движения.** Моменты количества движения пяти структур, от 5-слойной MS05c99b до 34-слойной MS34c49b, приведены в табл. 1 для начального момента времени  $T = 0$ . Эту величину еще называют кинетическим моментом. В таблице представлены проекции кинетического момента  $M_x$ ,  $M_y$  и  $M_z$  на оси координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , а также абсолютная величина  $M$ . По этим проекциям рассчитан угол  $\beta_3$  между вектором кинетического момента  $\vec{M}$  и осью  $z$  так:

$$\beta_3 = \arctg \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{M}. \quad (6)$$

Кроме того, приведен суммарный орбитальный момент всех тел  $M_{us}$ , если бы их орбиты находились в одной плоскости. Для круговых орбит он определяется так:

$$M_{us} = \sum_{i=1}^N m_i v_i r_i. \quad (7)$$

Орбитальные моменты тел по слоям изменяются. Например, для 34-слойной структуры кинетический момент центрального тела –  $2.19 \cdot 10^{-33}$ , для тела первого слоя –  $9.41 \cdot 10^{-7}$  и для тела 34-ого слоя –  $1.46 \cdot 10^{-5}$ . Следует отметить, что наличие кинетического момента у центрального тела обусловлено его отклонением от центра масс структуры.

**Таблица 1.** Орбитальные ( $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ,  $M$ ,  $M_{us}$ ) (а) и вращательные ( $S_{xx}$ ,  $S_{yy}$ ,  $S_{zz}$ ,  $S_s$ ) (б) моменты количества движения многослойных структур

(а)

Структуры	Орбитальные моменты количества движения							
	$T$	$M_x$	$M_y$	$M_z$	$M$	$\beta_3$	$M_{us}$	$M/M_{us}$
MS05c99b	0	$8.690 \cdot 10^{-3}$	$2.295 \cdot 10^{-4}$	0.02459	0.02608	$19.5^\circ$	0.02766	0.9428
MS10c99b	0	0.02944	-0.03525	$-3.230 \cdot 10^{-3}$	0.04603	$94.0^\circ$	0.09365	0.4915
MS15c49b	0	0.04884	-0.06214	$4.176 \cdot 10^{-3}$	0.07915	$87.0^\circ$	0.1554	0.5092
MS24c99b	0	0.07142	-0.09615	0.01974	0.12139	80.6	0.2273	0.5341
MS34c49b	0	0.08392	-0.1167	0.03297	0.14747	77.1	0.2670	0.5523

(б)

Структуры	Вращательные моменты количества движения (спины)						
	$T$	$S_{xx}$	$S_{yy}$	$S_{zz}$	$S_s$	$\beta_3$	$S_s/M$
MS05c99b	1.96	$3.741 \cdot 10^{-9}$	$-7.486 \cdot 10^{-9}$	$8.795 \cdot 10^{-9}$	$1.214 \cdot 10^{-8}$	$43.6^\circ$	$4.655 \cdot 10^{-7}$
MS10c99b	0.815	$-1.036 \cdot 10^{-7}$	$-1.587 \cdot 10^{-7}$	$1.277 \cdot 10^{-7}$	$2.285 \cdot 10^{-7}$	$56.0^\circ$	$4.964 \cdot 10^{-6}$
MS15c49b	0.779	$5.578 \cdot 10^{-8}$	$7.778 \cdot 10^{-7}$	$-4.633 \cdot 10^{-7}$	$9.070 \cdot 10^{-7}$	$120.7^\circ$	$1.146 \cdot 10^{-5}$

Величины кинетических моментов  $M$  и  $M_{us}$ , как видно из табл. 1, увеличиваются с увеличением количества слоев в структурах. Например, величина  $M_{us}$  от 5-слойной структуры до 34-слойной возрастает почти в 10 раз. Проекции моментов  $M_x$ ,  $M_y$  и  $M_z$  также изменяются в широких пределах, и могут быть как положительными, так и отрицательными. Наименее наклонен вектор кинетического момента  $\vec{M}$  к оси  $z$  у структуры MS05c99b:  $\beta_3 = 19.5^\circ$ . В этой структуре нет поворотов слоев вокруг оси  $x$ . А

в каждом слое орбиты тел повернуты по одному и тому же алгоритму. Поэтому кинетический момент структуры  $M = 0.02608$  мало отличается от орбитального момента всех тел  $M_{us}$ : их отношение равно 0.9428.

В остальных структурах слои равномерно повернуты вокруг оси  $x$ . Это привело к существенному изменению вектора  $\vec{M}$ . Так для структуры MS10c99b угол  $\beta_3 = 94^\circ$ , т.е. вектор  $\vec{M}$  практически лежит, в плоскости  $xu$ . Кроме того, он находится в южной полусфере. Поэтому суммарное обращение тел в структуре происходит по часовой стрелке. В других структурах суммарное обращение тел происходит против часовой стрелки.

Для 15-слойной структуры угол  $\beta_3 = 87^\circ$ , т.е. вектор кинетического момента  $\vec{M}$  находится еще ближе к плоскости  $xu$ , но в северном полушарии. Поэтому суммарное обращение тел происходит против часовой стрелки. В этих двух структурах отношение моментов  $M/M_{us}$  близко к 0.5. В структурах с большим количеством слоев это отношение немного возрастает, а угол  $\beta_3$  уменьшается, т.е.  $\vec{M}$  удаляется от плоскости  $xu$ .

В табл. 1 величины кинетического момента приведены для начального момента времени. Самое большое относительное изменение кинетического момента в конечный момент времени  $\delta M_z = 5.8 \cdot 10^{-5}$  было для структуры MS15c49b. Это означает, что величины моментов по 4 значащую цифру – неизменны. Поэтому приведенные в табл. 1 значения кинетического момента справедливы и для других моментов времени.

**3.3. Вращательные моменты тел и их тепловые энергии.** На рис. 11 в [6] было рассмотрено изменение спинов тела и его тепловой энергии при последовательном присоединении к нему других тел. Рассмотрим спины и тепловые энергии всех тел в окончательной стадии формирования структуры.

На рис. 7а представлены проекции спинов  $S_{px}, S_{py}, S_{pz}$  и их тепловой энергии  $E_t$  для всех слившихся тел 5-слойной структуры в момент  $T = 1.96$ . По горизонтальной оси отложены номера слившихся тел  $i_u$ . Проекции спинов  $S_{px}, S_{py}, S_{pz}$  отмечены крестиком, ромбиком и квадратиком, соответственно, а тепловые энергии – прямыми отрезками тонкой линией с изломами в номерах тел. Точки изломов и символы проекций спинов, лежащих на одну вертикаль с номером  $i_u$ , принадлежат телу  $i_u$ .

Всего имеется  $N_u = 43$  слившихся тел. Проекции спинов (рис. 7а) изменяются в широких диапазонах, и из графиков не видно преобладающего направления. Модуль спинов  $S_p$  изменяется от минимального значения  $2.86 \cdot 10^{-10}$  до максимального  $2.71 \cdot 10^{-9}$ , т.е. практически на порядок. Среднее значение модуля спина  $S_{ppm} = 1.21 \cdot 10^{-9}$  приведено пунктирной линией на графике.

Суммарное значение момента количества вращательного движения всей 5-слойной структуры, т.е. её спина, приведено в табл. 1(б) в виде проекций  $S_{sx}, S_{sy}, S_{sz}$ . Модуль суммарного спина  $S_s = 1.21 \cdot 10^{-8}$ , т.е. он ровно в 10 раз больше среднего спина отдельного тела  $S_{sm}$ . Однако всего имеется  $N_u$  тел, поэтому отношение суммарного спина к сумме спинов отдельных тел  $S_s/(N_u \cdot S_{ppm}) = 0.23$ . Таким образом, на 77% спины отдельных тел компенсируют друг друга.

Как видно из табл. 1, суммарный спин системы наклонен к оси  $z$  на угол  $\beta_3 = 43.6^\circ$ , в то время как кинетический момент системы  $\vec{M}$  имеет угол наклона  $\beta_3 = 19.5^\circ$ . Отношение этих моментов равно  $4.66 \cdot 10^{-7}$ , т.е. вращательный момент составляет малую долю орбитального момента количества движения.

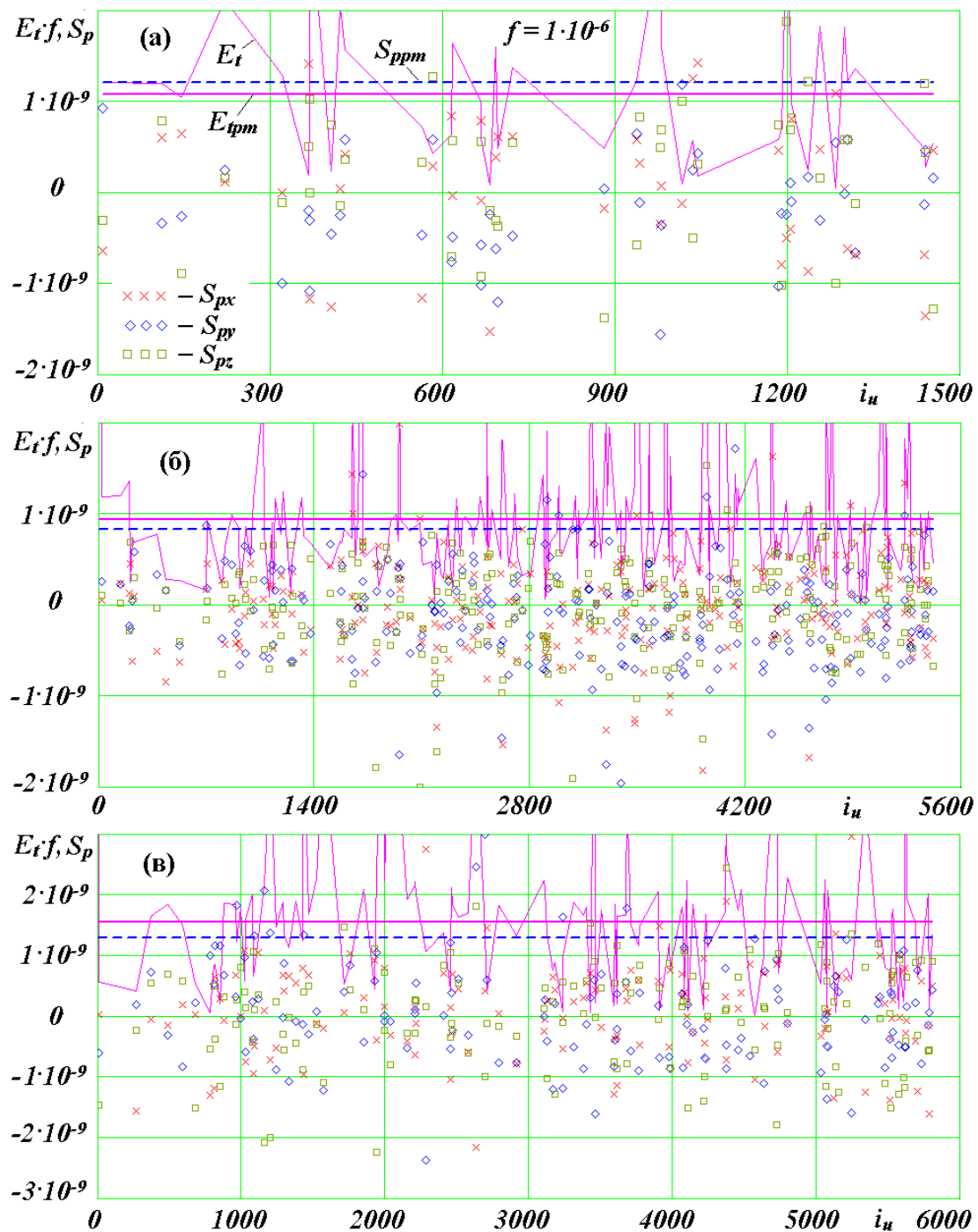


Рис. 7. Изменение тепловых энергий  $E_t$  и спинов  $S_p$  в зависимости от номеров слившихся тел  $i_u$  в трех структурах MS05c99e (а), MS10c99b (б) и MS15c49b (в):  $E_t$  – тепловая энергия;  $E_{tm}$  – средняя тепловая энергия периферийного тела;  $f = 1 \cdot 10^{-6}$  – множитель;  $S_{px}$ ,  $S_{py}$ ,  $S_{pz}$  – проекции спинов;  $S_{ppm}$  – модуль среднего спина периферийного тела.

Тепловые энергии  $E_t$  тел на рис. 7 уменьшены с коэффициентом  $f = 1 \cdot 10^{-6}$ . Для 5-слойной структуры они изменяются от минимального значения  $5.85 \cdot 10^{-5}$  до максимального  $3.24 \cdot 10^{-3}$ , т.е. в 55 раз. Среднее значение тепловой энергии одного тела  $E_{tm} = 1.08 \cdot 10^{-3}$ , а тепловая энергия всех тел  $E_{ts} = 0.0466$ .

В 10-слойной структуре (рис. 7б) всего имеется  $N_u = 248$  слившихся тел. В ней было одно слияние с центральным телом, поэтому будем рассматривать параметры

столкновений периферийных тел без центрального тела. Спины этих тел изменяются от  $2.80 \cdot 10^{-11}$  до  $6.39 \cdot 10^{-9}$  при среднем значении  $S_{ppm} = 8.287 \cdot 10^{-10}$ . На рис. 7б оно показано пунктирной линией. Из графиков проекций спина также не видно преобладающего его направления.

Спин центрального тела  $S_{p1} = 2.13 \cdot 10^{-7}$  превышает средний спин периферийного тела в 257 раз. А суммарный спин системы (табл. 1(б))  $S_s = 2.29 \cdot 10^{-7}$ . Поэтому проекция спина центрального тела определяют направление всего спина  $\vec{S}_s$  системы. Он составляет угол  $\beta_3 = 56^\circ$  с осью  $z$ , в то время как вектор орбитального момента наклонен к этой оси на угол  $\beta_3 = 94^\circ$ . В данном случае, если смотреть из конца оси  $z$  на плоскость  $xy$ , то суммарное орбитальное движение происходит по часовой стрелке, а суммарное вращательное – против часовой стрелки.

Тепловая энергия периферийных тел изменяется от  $5.46 \cdot 10^{-6}$  до  $6.45 \cdot 10^{-3}$ , т.е. в 1180 раз, при средней тепловой энергии тела  $E_{tpm} = 9.44 \cdot 10^{-4}$ . Тепловая энергия центрального тела  $E_{t1} = 0.762$ , а всех тел  $E_{ts} = 0.995$ . Таким образом, центральное тело дает основной вклад в тепловую энергию системы.

В 15-слойной структуре имеется  $N_u = 140$  слившихся тел (рис. 7в). Здесь с центральным телом слились 4 тела. Модули спинов периферийных тел изменяются от  $1.73 \cdot 10^{-10}$  до  $3.75 \cdot 10^{-9}$  при среднем значении  $S_{ppm} = 1.29 \cdot 10^{-9}$ . Величина  $S_{ppm}$  показана на рис. 7в пунктирной линией.

Спин центрального тела  $S_{p1} = 8.99 \cdot 10^{-7}$ , т.е. превышает спин периферийного тела в 696 раз. А суммарный спин системы (табл. 1(б))  $S_s = 9.07 \cdot 10^{-7}$ , т.е. практически полностью обусловлен центральным телом. Вектор суммарного спина, а, следовательно, и центрального тела составляет с осью  $z$  угол  $b_3 = 120.7^\circ$ . Таким образом, суммарное вращательное движение по отношению к оси  $z$  происходит по часовой стрелке, а суммарное орбитальное движение с углом  $b_3 = 87^\circ$  происходит практически в вертикальной плоскости. Отношение суммарного спина к суммарному кинетическому моменту равно  $1.15 \cdot 10^{-5}$  (табл. 1(б)).

Тепловая энергия периферийных тел изменяется от  $2.25 \cdot 10^{-5}$  до  $6.46 \cdot 10^{-3}$  при среднем её значении  $E_{tpm} = 1.56 \cdot 10^{-3}$ . Тепловая энергия центрального тела  $E_{t1} = 0.149$ , а всех тел –  $E_{ts} = 0.366$ . Энергия  $E_{t1}$  в 5 раз меньше по сравнению с тепловой энергией центрального тела в 10-слойной структуре, несмотря на то, что здесь было 4 столкновения с центральным телом. Это свидетельствует о том, что в 10-слойной структуре столкновение происходило при большей скорости периферийного тела. В ней спин центрального тела в 4 раза меньше чем в 15-слойной структуре. Это свидетельствует о том, что в первой структуре столкновение было более прямым, а во второй столкновения были ближе к касательным.

**3.4. Созвездия в структурах.** На видах структур в конечный момент времени (рис. 4, рис. 7 в [6] и рис. 1) имеется близкое расположение тел друг другу для двух, трех и более тел. Часть этих расположений может быть обусловлено совпадением их визуальных линий при достаточно большом расстоянии между телами. Другая часть может быть обусловлено кратковременным их сближением. Однако могут быть и такие случаи, когда тела образовали устойчивые ассоциации, то есть созвездия. С целью выявления созвездий по данным выходных файлов системы Galactica была разработана программа Constns.for. В выходном файле системы Galactica имеются координаты тел для момента  $T$ . Выходные файлы выдаются через заданное число шагов интегрирования K13. Программа Constns.for определяет количество тел с номерами  $i$ , для которых имеются тела с номерами  $k$ , находящиеся от тела  $i$  на расстоянии  $R_{ik} \leq d_{max}$ .

Каждому телу  $i$  может быть найдено до 6 тел с номерами  $k$  с их расстояниями  $R_{ik}$ . А количество всех близких тел  $k$  определяется без ограничения, но при этом их номера и расстояния  $R_{ik}$  не сохраняются.

На рис. 8а представлены результаты расчетов по этой программе для десятислойной структуры для конечного момента времени  $T = 0.815$  при  $d_{max} = 0.003$ . Это значение  $d_{max}$  соответствует расстояние между телами на линии их расположения момент  $T = 0$  (рис. 7а в [6]). Чтобы выбрать это расстояние, по рис. 7б в [6] были замерены расстояния между рядом близко расположенных тел. Оно оказалось близким к величине 0.003.

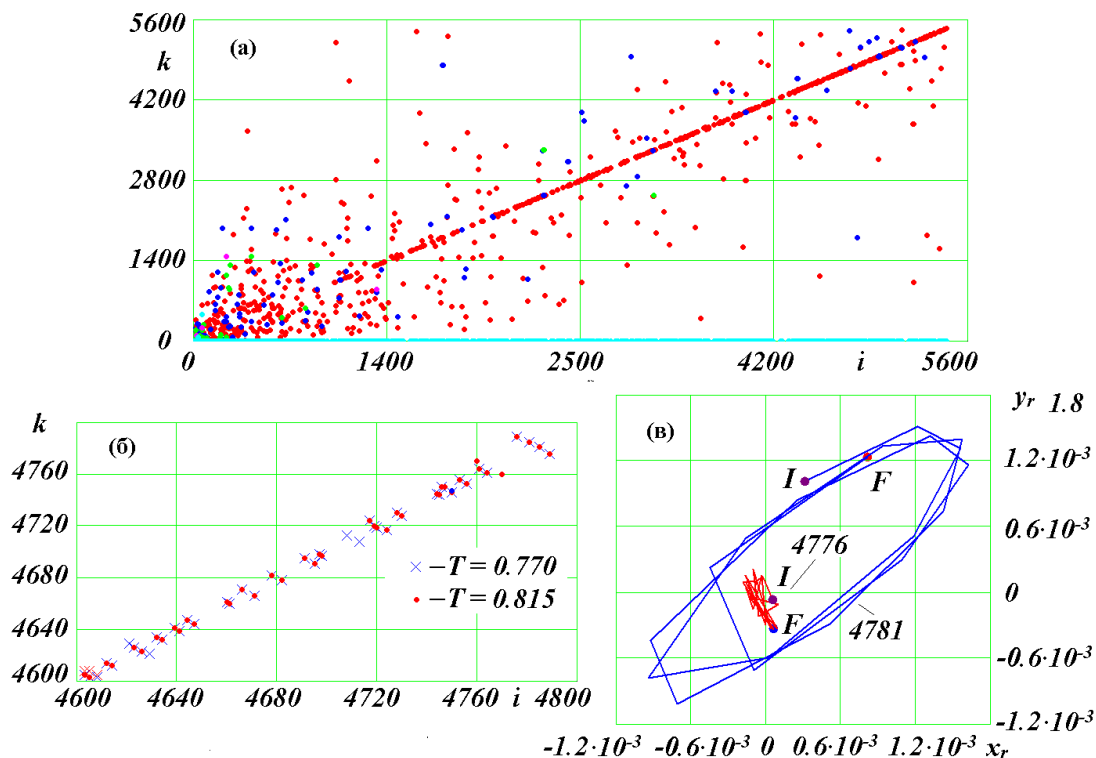


Рис. 8. Номера близких тел  $k$  у тел  $i$  (а, б) и относительные траектории в созвездиях (в) для десятислойной структуры MS10c99b.

По горизонтальной оси на рис. 8а отложены номера тел  $i$ , а по вертикальной номера тел  $k$ . Всего было найдено  $N_{is} = 1032$  тел  $i$  из общего количества тел в структуре  $N = 5451$ . В случае наличия у тела  $i$  несколько близких тел  $k$ , это количество тел отмечается на графике количеством точек по вертикали у тела  $i$ . Наибольшее количество тел  $i$  имело по одному близкому телу, а наименьшее – по 5. Таких тел было 2.

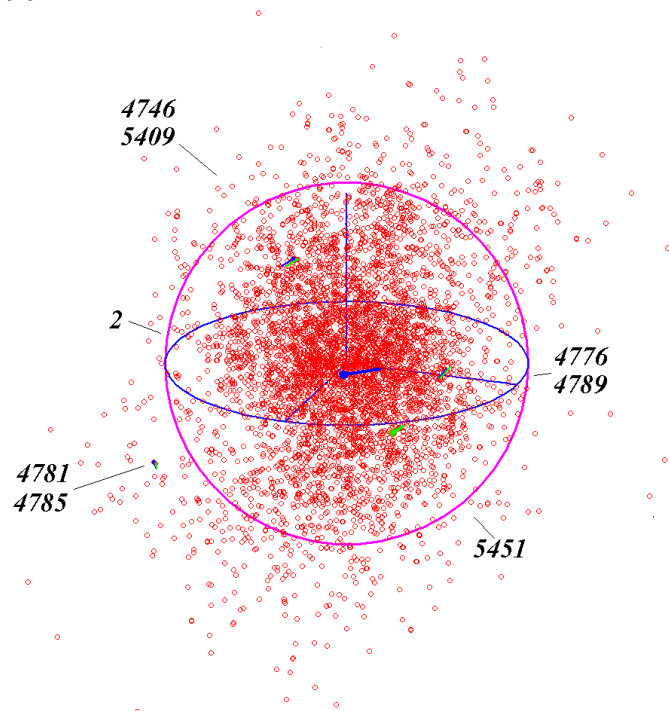
Следует отметить, что число в  $N_{is} = 1032$  входят все тела, имеющие к себе близкое тело. Поэтому, если у каждого тела будет по одному близкому телу, то созвездий будет  $1032/2 = 516$ , а если по два, то их будет  $1032/3 = 344$  и т.д.

Из рис. 8а видно, что для тел, начиная с  $i = 1000$ , количество близких тел  $k$  концентрируется на диагональной линии. На 196 для тел  $i = 4600 \div 4800$  график близких тел приведён в укрупненном масштабе. Точками показано расположение тел в момент  $T = 0.815$ . Из графика видно, что тела  $k$  на диагональной линии имеют близкие к телам  $i$  номера. Как уже отмечалось, определенные в момент  $T = 0.815$  сближения тел могут быть случайными. Чтобы убедиться, что они не случайные, а соответствуют

созвездиям, необходимо повторить эти расчёты для другого момента времени. Результаты расчётов для предшествующего момента времени  $T = 0.770$  приведены символами “х”. Большинство из них совпадает с точками для момента  $T = 0.815$ . Из 41 случаев нет совпадений только в трех случаях. Поэтому можно считать, что в 38 случаях близких расположений проявляются созвездия. Из 38 случаев три имеют отличия. У тела 4746 имеется близкое тело 4750, у тела 4747 имеется два близких тела: 4750 и 5409, а у тела 4750 – тоже два: 4746 и 4747. Эта ситуация подтвердилось и для  $T = 0.770$ . Поэтому тела 4746, 4747, 4750 и 5409 образуют созвездие из четырёх тел.

Отсюда следует, что на участке  $i = 4600 \div 4800$  имеется 17 созвездий из двух тел и одно – из четырёх тел. Всего из 200 тел  $i$  на рис. 8б имеется 18 созвездий. Таким образом, можно оценить общее количество созвездий, как  $18/200 = 0.09$  часть от общего количества тел. Тогда в десятичной структуре будет  $0.09 \cdot N = 491$  созвездие. Эта оценка близка к числу 516, оцененному ранее по количеству сближений с одним телом. Поэтому можно считать, что в структуре может образоваться количество созвездий до 9% от количества тел в ней.

Вышеотмеченное созвездие 4746-5409 из четырёх тел 4746, 4747, 4750 и 5409 показано на рис 9. Его положение в момент времени  $T = 0.770$  отмечено векторами скорости тел 4746 и 5409. Положение этого созвездия в конечный момент времени  $T = 0.815$  также показано на рис. 7б в [6]. Видно, что за это время оно переместилось по сфере примерно на  $90^\circ$ .



**Рис. 9.** Положение трех созвездий 4746-5409, 4776-4789 и 4781-4785 в десятичной структуре MS10c99b в момент  $T = 0.770$ .

В этом созвездии тело 4747 имеет удвоенную массу, а остальные тела – по одной массе  $m_1$ . При рассмотрении в большем масштабе видно, что тело 4747 находится в центре, а остальные тела окружают его.

Тела с массой  $5m_1$  не образуют созвездий. Большинство созвездий создано с массами  $m_1$ . На рис. 8а имеется 4 случая тел  $i$  с массой  $4m_1$ , 13 – с массой  $3m_1$  и 76

случаев с массой  $2m_1$ . Количество созвездий с этими телами будет немного меньше, так как в одно созвездие может войти несколько таких тел.

В верхнем правом углу рис. 8б привлекают внимание четыре тела: 4776, 4781, 4785 и 4789, одно из которых, а именно, тела 4789, имеет удвоенную массу. Оказалось, что эти тела образуют две пары: 4776-4789 и 4781-4785. Как видно из рис. 9, в момент  $T = 0.770$  они находятся в разных местах 10-слойной структуры. По 20 точкам, начиная с момента  $T = 0.7167$ , были рассмотрены их относительной траектории: тела 4776 относительно тела 4789 и тела 4781 относительно тела 4785. На рис. 8в представлены относительные траектории этих тел, т.е. 4776 и 4781 в проекции на плоскость  $xу$ . Относительные координаты обозначены как  $x_r$  и  $y_r$ . От начальной точки  $I$  до конечной  $F$  тело 4781 совершает немного больше трех обращений вокруг тела 4789. Средний интервал между точками  $\Delta T = 5.195 \cdot 10^{-3}$ . Орбита тела 4781 представляет собой эллипс с полуосью  $a = 1.69 \cdot 10^{-3}$  и эксцентриситетом  $e = 0.255$ . Период обращения по орбите  $P = 0.0325$ .

Орбита тела 4776, от начальной точки  $I$  до конечной  $F$ , представлена пересекающимися отрезками, т.к. период его обращения сопоставим с интервалом  $\Delta T$  между точками. Орбитой этого тела является эллипс с осью  $a = 3.12 \cdot 10^{-4}$  и эксцентриситетом  $e = 0.513$ . Период обращения тела 4776 определен с помощью формулы (8) в [6]. Он равняется  $P = 3.15 \cdot 10^{-3}$ , т.е. в 10 раз меньше периода обращения тела 4781. За рассмотренный интервал времени тело 4776 совершило 31 обращение вокруг тела 4789. Положение этих двух созвездий в момент времени  $T = 0.770$  показано на рис. 9, а в конечный момент  $T = 0.815$  – на рис 7б в [6]. Их перемещение по сфере за это время произошло на угол не больше  $45^\circ$ .

Были выполнены расчеты при увеличенном в два раза расстоянии  $d_{max} = 6 \cdot 10^{-3}$ . Для момента  $T = 0.815$  было найдено 2650 тел  $i$ , которые сближаются на расстояние  $d \leq d_{max}$  с другими телами  $k$ . При этом количество тел  $k$  достигло 19 для тела  $i = 93$ . Для момента  $T = 0.770$  тел  $i$  было 2715 с наибольшим количеством тел  $k$  17 для тела  $i = 84$ . Для этого случая выбранные первые несколько тел не подтвердились для момента  $T = 0.815$ . На интервале изменения тел  $i = 4600 \div 4800$  (рис. 8б) отмеченные ранее случаи несовпадения в этом случае совпали. Таким образом, увеличение в два раза  $d_{max}$  позволяет выявлять созвездия с более удаленными телами и с большим их количеством.

Эти расчёты были также выполнены для 5-слойной и 15-слойной структур. Для пятислойной структуры, в конечный момент времени  $T = 1.96$ , при  $d_{max} = 3.16 \cdot 10^{-3}$  было найдено 367 тел  $i$ , которые сближаются на расстояние  $R_{ik} \leq d_{max}$  с другими телами  $k$ . Количество тел  $k$  достигало 5. Распределение тел на графике, аналогичном рис. 8а, было более равномерным, и отсутствовала концентрация тел по диагональной линии.

Для 15-слойной структуры при  $d_{max} = 5.3 \cdot 10^{-3}$  в конечный момент  $T = 0.780$  было найдено 1843 тела  $i$ , которые сближаются на расстояние  $R_{ik} \leq d_{max}$  с другими телами  $k$ . Наибольшее количество тел  $k$  было 7. Распределение тел на графике, аналогичном рис. 8а, было также более равномерным, но с меньшей концентрацией тел у диагональной линии. Диагональная линия также прочерчивалась, но начиналось она после  $i = 2000$ .

## 4. МАСШТАБИРОВАНИЕ СТРУКТУР

**4.1. Безразмерные параметры структур.** Как уже отмечалось в [6], в программе MLSpStr2.for файлы структур с начальными условиями создаются в безразмерном виде с помощью параметров  $m_{ss}$ ,  $A_m$ , и  $k_t$  [7]. В табл. 2 приведены

безразмерные параметры структур. Количество тел  $N$  изменяется от 1488 до 29701, масса центрального тела  $m_0$  – от 0.8683 до 0.1427, масса периферийного тела  $m_1$  – от  $9.332 \cdot 10^{-5}$  до  $2.532 \cdot 10^{-5}$ , радиус центрального тела  $R_{a0}$  – от  $2.171 \cdot 10^{-5}$  до  $3.965 \cdot 10^{-5}$ , радиус периферийного тела  $R_{a1}$  – от  $1.220 \cdot 10^{-6}$  до  $1.884 \cdot 10^{-6}$ , полуось орбиты первого слоя  $a_1$  – от 0.0149 до 0.008587, полуось орбиты последнего слоя  $a_{N2}$  – от 0.0652 до 0.2427. У всех структур безразмерная масса  $m_{ss} = 1$  и одинаков период обращения тел первого слоя  $P_1 = 0.01$ . Период обращения тел последнего слоя  $P_{N2}$  изменяется от 0.1046 до 0.7475.

Как уже отмечалось, размерные полуоси у этих структур одинаковые и одинаковые размерные массы периферийных тел у 5-, 10- и 24-слойных структур. У 15- и 34-слойных структур массы в два раза большие. Но безразмерные полуоси и массы во всех структурах разные. Переход к безразмерным величинам связан с массами структур, а они – разные. Поэтому одинаковые размерные параметры в безразмерном виде становятся разными.

В последнем столбце табл. 2 приведен относительный наружный радиус  $r_{95rN2}$  структур, эволюция которых исследовалась. Он определен в конечный момент по наибольшему расстоянию от центра масс 95% тел, т.е. это – размер структуры с 95% обеспеченностью. Как видим, для всех структур величина  $r_{95rN2}$  примерно одинакова при среднем значении  $r_{95rN2m} = 1.662$ . Только 5% тел удалено от центра на расстояние больше  $r_{95rN2m}$ .

**Таблица 2.** Безразмерные параметры структур, моделирующих шаровые созвездия: безразмерная масса структуры  $m_{ss} = 1$ ; период обращения тел в первом слое для всех структур одинаков  $P_1 = 0.01$ .

Структуры	$N$	$m_0$	$m_1, *10^{-5}$	$R_{a0}, *10^{-5}$	$R_{a1}, *10^{-6}$	$a_1$	$a_{N2}$	$P_{N2}$	$r_{95rN2}$
MS05c99e	1488	0.8683	8.859	3.965	1.853	0.01304	0.0652	0.1046	1.753
MS10c99b	5451	0.6426	6.557	3.586	1.676	0.01179	0.1179	0.2535	1.522
MS15c49b	5866	0.4527	9.332	3.189	1.884	0.01049	0.1573	0.3911	1.591
MS24c99b	29701	0.2481	2.532	2.611	1.220	0.008587	0.2061	0.5834	-
MS34c49b	29156	0.1427	2.941	2.171	1.282	0.007138	0.2427	0.7475	-

**4.2. Алгоритм масштабного перехода.** На основании безразмерных параметров табл. 2 определим размерные параметры 5 моделей шаровых звездных скоплений. Зададим массу периферийного тела равную половине массы Солнца:  $m_{1,m} = 0.5 m_s$ . В центре шаровых созвездий плотность звезд может достигать от 100 до 1000 звезд на кубический парсек (пк) [8]. С учетом этого для всех моделей в размерном виде задаем полуось орбиты тела первого слоя  $a_{1,m} = 0.2$  пак, где один парсек:  $1 \text{ пак} = 3.0856776 \cdot 10^{16}$  м.

С учетом безразмерных масс в табл. 2 размерная масса центрального тела будет

$$m_{0,m} = m_{1,m} \cdot m_0 / m_1, \tag{8}$$

а размерная масса всей структуры запишется

$$m_{ss,m} = m_{0,m} + (N - 1) \cdot m_{1,m}. \tag{9}$$

При заданной полуоси первого слоя  $a_{1,m}$  определяется геометрический масштаб

$$A_{m,m} = a_{1,m}/a_1. \quad (10)$$

С его помощью находим полуось орбиты тела последнего слоя  $a_{N2,m} = A_{m,m} \cdot a_{N2}$ . При известных  $A_{m,m}$  и  $m_{ss,m}$  из (27) в [6] определяется коэффициент времени

$$k_{t,m} = \sqrt{G \cdot m_{ss,m} / A_{m,m}^3}. \quad (11)$$

Коэффициент скорости  $k_{v,m}$  вычисляется по формуле (5). С помощью этих коэффициентов, преобразуя кинетический момент и энергию к безразмерному виду, получаем выражения для их масштабных коэффициентов

$$k_M = \frac{k_{v,m}}{A_{m,m} m_{ss,m}}; \quad k_E = \frac{(k_{v,m})^2}{m_{ss,m}}. \quad (12)$$

С помощью масштабных коэффициентов осуществляется переход от безразмерных величин к размерным. Например, размерный период обращения тел в наружном слое рассчитывается так:  $P_{N2,m} = P_{N2,m}/k_{t,m}$ .

**4.3. Размерные параметры моделируемых шаровых скоплений.** В табл. 3 приведены масштабные коэффициенты и размерные величины шаровых созвездий, моделируемых пятью многослойными структурами. Массы тел даны в солнечных массах, полуоси – в парсеках, а периоды в годах. В последнем столбце приведено количество звезд в кубическом парсеке в начальный момент времени. Эта величина определяется так:

$$n_{pk} = \frac{3N}{4\pi(a_{N2,m})^3}. \quad (13)$$

Плотность звезд  $n_{pk}$  в табл. 3 изменяется от 355 для 5-слойной структуры до 22 – для 34-слойной структуры. Так как это средние плотности, то эти величины соответствуют наблюдаемым плотностям звезд в центре шаровых звездных скоплений.

Периоды обращения звезд на первом слое  $P_{1,m}$  изменяются от 120 до 170 тыс. лет (табл. 3), а на последнем слое:  $P_{N2,m}$  – от 1.2 до 12.7 млн. лет. Периоды обращения тел в созвездиях значительно меньше, чем в наружном слое. Так в 10-слойной структуре период обращения тела 4781 относительно тела 4785 равен 388 тыс. лет (рис. 8в), а тела 4776 вокруг тела 4788 – 37.6 тыс. лет.

С учетом среднего значения  $r_{95rN2m}$  диаметр этих созвездий  $D_g = 1.622 \cdot 2 \cdot r_{95rN2m}$  изменяется от 3.2 пк для 5-слойной структуры до 22 пк для 34-слойной структуры. Диаметр наблюдаемых шаровых звездных скоплений изменяется от 20 до 100 пк, а количество звезд в них – от  $10^4$  до  $10^5$  [8]. Как видим, модели шаровых скоплений, основанные на 24- и 34-слойных структурах удовлетворяют этим параметрам.

Форма наблюдаемых шаровых звездных скоплений может отличаться от сферической, поэтому ее характеризуют эллиптичностью [1]. Она определяется как

разность наибольшего и наименьшего диаметров, отнесенная к наибольшему диаметру. В нашей Галактике наибольшую эллиптичность, равную 0.4, имеет скопление NGC6273. Наибольшую эллиптичность моделируемых скоплений, равную 0.6, имеет 5-слойное скопление. У остальных моделей с увеличением количества слоев эллиптичность приближается к нулю.

**Таблица 3.** Размерные параметры шаровых созвездий, моделируемых многослойными структурами при полуоси первого слоя  $a_{1,m} = 0.2$  пк и массе звезды  $m_{1,m} = 0.5 m_S$ , где 1 парсек (пк) =  $3.0856776 \cdot 10^{16}$  м, а масса Солнца  $m_S = 1.989118 \cdot 10^{30}$  кг.

Структуры	$m_{0,m},$ $m_S$	$m_{ss,m},$ $m_S,$ $\cdot 10^3$	$A_{m,m},$ М, $\cdot 10^{17}$	$k_{t,m},$ 1/сек, $\cdot 10^{-15}$	$k_{v,m},$ сек/м, $\cdot 10^{-3}$	$a_{N2,m},$ пк	$P_{1,m},$ лет, $\cdot 10^5$	$P_{N2,m},$ лет, $\cdot 10^6$	$n_{pk},$ 1/пк <sup>3</sup>
MS05c99e	4901	5.644	4.733	2.658	0.7948	1	1.192	1.247	355
MS10c99b	4900	7.625	5.234	2.656	0.7192	2	1.193	3.024	163
MS15c49b	2426	5.358	5.883	1.869	0.9095	3	1.696	6.631	52
MS24c99b	4899	19.75	7.187	2.657	0.5236	4.8	1.192	6.957	64
MS34c49b	2426	17.00	8.646	1.869	0.6189	6.8	1.696	12.68	22

В работе [1] отмечают, что в форме всех шаровых скоплений, для которых получены качественные оптические изображения, обнаруживаются деформационные хвосты, т.е. имеются отклонения от сферической симметрии. Поэтому можно считать, что несимметричность 10-слойной и 15-слойной моделей шаровых скоплений на рис. 7б в [6] и на рис. 1б является вполне допустимой их формой.

С целью проверки результатов масштабного перехода по размерным параметрам согласно (8) в [6] был рассчитан период обращения тел первого слоя. В формуле (8) в [6] для круговой орбиты  $a_1 = -1$ , радиус перицентра  $R_p = a_1$ , скорость в перицентре  $v_p$  определяется по формуле (9) в [6], а параметр взаимодействия  $\mu_1$  – по формуле (6) в [6]. Так рассчитанные периоды обращения до единиц четвертого десятичного знака совпали с периодами, вычисленными с помощью масштабного перехода.

**4.4. Периоды вращения звезд и их температуры.** При рассмотрении сближений и столкновений тел в трех исследованных структурах приводились максимальные спины и тепловые энергии. Кроме того, отмечались максимальные скорости  $v_{mx}$  в этих структурах. С помощью масштабных коэффициентов найдем размерные значения скоростей, периодов вращения слившихся тел  $P_{rt}$ , а также увеличение их температуры  $\Delta t$ . Для определения радиусов звезд шаровых скоплений зададим их среднюю плотность  $\rho_{gk} = \rho_S = 1.406 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, где  $\rho_S$  – средняя плотность Солнца. Тогда размерные радиусы тел определяются через их размерные массы  $m_m$ :

$$Ra_m = \left( \frac{3m_m}{4\pi\rho_{gk}} \right)^{1/3}. \tag{14}$$

Моменты инерции тел определяем как для однородного шара:

$$J_m = 0.4 \cdot m_m \cdot Ra_m^2. \tag{15}$$

Размерные спины и тепловые энергии рассчитываем с помощью масштабных коэффициентов

$$S_{p,m} = S_p/k_M; \quad E_{t,m} = E_t/k_E. \quad (16)$$

Тогда размерные периоды вращения звезд определяются так:

$$P_{rt,m} = 2\pi J_m/S_{p,m}. \quad (17)$$

Для определения температуры нагрева  $\Delta t$  слившихся звезд задаемся их теплоемкостью, равной теплоемкости воды  $C_t = 1.183 \cdot 10^3$  Дж/(кг·град). Тогда увеличение температуры слившихся тел будет:

$$\Delta t = E_{t,m}/(m_m \cdot C_t). \quad (18)$$

Выполненные по этим формулам результаты расчетов представлены в табл. 4. В первых пяти столбцах даны безразмерные спины, тепловые энергии и максимальные скорости. С индексом “0” величины относятся к центральному телу, а с индексом “1” – к периферийному телу. Для периферийного тела даны максимальные значения спинов и тепловых энергий. Тела в 5- и в 15-слойных структурах имеют удвоенные массы, а в 10-слойной структуре масса тела равна  $5m_1$ . Как уже отмечалось, безразмерную максимальную скорость  $v_{mx}$  имеют тела, которые находятся вблизи центра структур.

В последних пяти столбцах табл. 4 даны размерные величины. Периоды вращения центрального тела  $P_{rt0,m}$  изменяются 2 до 17 дней, а периферийного тела ( $P_{rt1,m}$ ) – достигают тысячных долей дня, что эквивалентно нескольким минутам. Температура нагрева центрального тела  $\Delta t_0$  изменяется от нескольких сот до двух тысяч градусов, а периферийного ( $\Delta t_1$ ) – достигает нескольких десятков тысяч градусов. В центральной области скоплений наибольшая скорость движения звезд равняется двум десяткам км/сек.

При использованных массах тел в этих моделях шаровых скоплений их относительные радиусы не совпадают с относительными радиусами, при которых решалась задача взаимодействия тел (28) в [6]. От радиусов тел зависят их периоды вращения и температуры  $\Delta t$ . Чтобы убедиться, что приведенные в табл. 4 величины являются достоверными, были рассчитаны периоды вращения и температуры при исходных размерных радиусах тел.

**Таблица 4.** Периоды вращения звезд  $P_{rt}$  в днях, температуры нагрева  $\Delta t$  в градусах Кельвина при столкновениях и максимальные скорости  $v_{mx}$  в км/сек в шаровых скоплениях, моделируемых многослойными структурами.

Структуры	Безразмерные величины					Размерные величины				
	$S_{p0},$ * $10^{-7}$	$S_{p1},$ * $10^{-9}$	$E_{t0}$	$E_{t1},$ * $10^{-3}$	$v_{mx}$	$P_{rt0,m},$ дней	$P_{rt1,m},$ дней, * $10^{-3}$	$\Delta t_0,$ К	$\Delta t_1,$ К, * $10^{+4}$	$v_{mx,m}$ км/сек
MS05c99e	-	2.71	-	3.24	14.3	-	1.549	-	2.447	17.99
MS10c99b	2.13	6.39	0.762	6.45	17.7	16.87	1.832	1938	3.215	24.61
MS15c49b	8.99	3.75	0.149	6.46	16.9	1.982	1.085	336.3	3.537	18.58

Температуры оказались в среднем в 10 раз большие. Температуры пропорциональны квадратам скоростей движения тел. При исходных параметрах скорости в три раза большие, что объясняет большие на порядок температуры.

Периоды вращения при исходных параметрах были в 60 раз большие. Периоды вращения обратно пропорциональны скоростям и пропорциональны квадратам радиусов тел. Радиусы тел при исходных параметрах в 15 раз меньше. Это объясняет 60-кратное увеличение периодов.

Таким образом, представленные в табл. 4 прибавки температуры звезд и их периоды вращения в моделях шаровых скоплений по порядку величин достоверно отражают эти свойства тел.

Процессы слияния тел зависят от радиусов тел. Связь радиусов с массами тел, отличается от связи расстояний с массами в уравнении взаимодействия (28) в [6]. Поэтому для более точного моделирования параметров тел при их слиянии необходимо радиусы тел задавать соответствующие моделируемой звездной системе.

Представленные в табл. 4 периоды вращения и температуры периферийных тел являются экстремальными. Как было показано в п. 3.3 минимальные значения спинов и тепловых энергий на один-два порядка меньше. Поэтому в среднем, температуры  $\Delta T_l$  для периферийных тел в несколько раз меньше, а периоды вращения  $P_{rtl,m}$  – в несколько раз большие.

**4.5. Модели центрального тела.** Одной из главных проблем таких звёздных ассоциаций как шаровые звёздные скопления и галактики является масса центрального тела: насколько она должна быть большой. Для задачи взаимодействия тел плоской осесимметричной структуры [2] - [3] точное решение существует при отсутствии центрального тела, то есть при  $m_0 = 0$ . Однако такая структура неустойчива. В результате численных экспериментов для сферической однослойной структуры [4] - [5] было установлено, что такие структуры можно создавать при относительной массе центрального тела  $p_{m0} < 0.95$ . Поэтому многослойные структуры создавались с некоторым запасом при  $p_{m0} = 0.99$ .

В многослойной структуре масса центрального тела, отнесенная к массе всей структуры, уменьшается с увеличением количества слоёв от  $m_0 = 0.87$  для пятислойной структуры до  $m_0 = 0.14$  для 34-слойной структуры (табл. 2). Однако размерная масса центрального тела  $m_{0,m}$  остаётся равной тысячам масс Солнца (табл. 3). С целью уменьшения массы центрального тела заменим его моделью, которая представляет собой многослойную структуру, аналогичную рассмотренным выше. Пусть масса этой структуры равняется массе центрального тела

$$m_{ss3,m} = m_{0,m}, \quad (19)$$

а наружная полуось орбиты составляет  $k_{a1}$  часть от полуоси внутреннего слоя шарового скопления

$$a_{N23,m} = k_{a1} \cdot a_{1,m}. \quad (20)$$

Здесь индексом “3” обозначены параметры модели первого центрального тела. Впоследствии будут еще модели других центральных тел. Два условия (19) – (20) однозначно определяют параметры этой модели.

По параметрам рассмотренных многослойных структур были рассчитаны модели центрального тела. Для модели шарового скопления с  $N_2$  слоями создавалась

модель центрального тела с таким же количеством слоев. В табл. 5 приведены параметры моделей 1-ого центрального тела при коэффициенте  $k_{a1} = 0.5$ , т.е. наружный размер модели центрального тела равняется половине внутреннего размера многослойной структуры. Здесь даны масса центрального тела  $m_{03,m}$  и масса периферийного тела  $m_{13,m}$  в солнечных массах, а также период обращения тела на внутреннем слое  $P_{13,m}$  и период обращения тел на наружном слое  $P_{N23,m}$  в сидерических годах. Для пятислойной модели масса центрального тела  $m_{0,m}$  уменьшалась с 4901 (табл. 3) до 4255 масс Солнца (табл. 5), то есть это – не значительное уменьшение. Для 34-слойной структуры она уменьшалась с 2426 до 346.1 солнечных масс, то есть в 7 раз. В этой структуре периферийные тела имеют массу  $m_{1,m} = 0.5$  масс Солнца, а в модели центрального тела масса периферийных тел  $m_{13,m} = 0.0713$  солнечных масс. То есть также в 7 раз меньше. Их период обращения во внутреннем слое  $P_{13,m} = 800.6$  лет, а в наружном слое  $P_{N23,m} = 59840$  лет. Эти периоды в 212 раз меньше соответствующих периодов обращения тел в модели шарового скопления (табл. 3).

Таблица 5. Модели центральных тел в виде многослойных структур при условиях (19) - (20) и  $k_{a1} = 0.5$ .

Структуры	Модели 1-го центрального тела				Модели 2-го центрального тела			
	$m_{03,m}$ , $m_s$	$m_{13,m}$ , $m_s$	$P_{13,m}$ , лет,	$P_{N23,m}$ , лет, * $10^4$	$m_{04,m}$ , $m_s$	$m_{14,m}$ , $m_s$	$P_{14,m}$ , лет,	$P_{N24,m}$ , лет
MS05c99e	4255	0.4341	4045	4.231	3695	0.3770	137.3	1436
MS10c99b	3149	0.3213	1664	4.217	2024	0.2065	23.20	588.2
MS15c49b	1073	0.2306	1534	5.998	474.7	0.1020	14.03	548.8
MS24c99b	1216	0.1240	719.9	4.200	301.6	0.0308	4.346	253.6
MS34c49b	346.1	0.0713	800.6	5.984	49.37	0.0102	3.780	282.6

Эта модель центрального тела моделирует центральное тело многослойной структуры, т.е. это есть модель первого центрального тела. В модели центрального тела также имеется центральное тело, т.е. это – второе центральное тело. Его также можно заменить многослойной моделью согласно условиям аналогичным (19) – (20). В табл. 5 приведены параметры модели 2-го центрального тела с индексом “4”. Наиболее существенно уменьшилась масса 2-ого центрального тела  $m_{04,m}$  для 34-слойной его модели, а именно также в 7 раз по отношению к  $m_{03,m}$ . Во столько же раз уменьшилась масса периферийных тел  $m_{14,m}$ . Периоды обращения  $P_{14,m}$  и  $P_{N24,m}$  также уменьшились в 212 раз по сравнению с соответствующими периодами модели 1-ого центрального тела.

В этих моделях центрального тела с двумя 34-слойными структурами масса центрального тела равняется 49.37 масс Солнца. Если использовать ещё модель 3-его центрального тела, то масса центрального тела уменьшится до 7 масс Солнца. В этом случае центрального тела будут окружать 34 слоя обращающихся тел с массой равной полторы массы Юпитера. На внутреннем слое период их обращения будет равен 6.5 дней, а на 34-слое – 1.3 года. Всего этих периферийных тел будет 29155. Затем такое же количество тел с массой 0.0102 масс Солнца будут находиться в 34 слоях с периодами обращения 3.78 лет на 35-ом слое и 282.6 лет – на 68 слое. Следующие 29155 тел с массой 0.0713 масс Солнца находятся в 34 слоях с периодами обращения 800.6 лет на 69-ом слое и 59.84 тысяч лет – на 102 слое. В 34 наружных слоях этого шарового скопления находятся 29155 звезд с массой 0.5 масс Солнца и периодами обращения

169.6 тыс. лет на 103 слое и 12.68 млн. лет на 136 слое. Всего это скопление содержит 116620 периферийных тел, обращающихся вокруг центрального тела с массой равной 7 масс Солнца. Радиус первого слоя равен 0.13 астрономической единицы (AU), а 136-го слоя – 6.8 пк или  $2.06 \cdot 10^5$  AU. Период обращения тел в первом слое, как уже отмечалось, равен 6.5 дней, а в последнем – 12.68 млн. лет.

Тела на внутреннем слое с массой, равной 1.5 массы Юпитера, не являются источниками светового излучения, поэтому они будут экранировать центральное тело. В слоях, начиная с 35-ого, масса тел будет увеличиваться, и будет появляться их светимость вначале в инфракрасном диапазоне, потом в красном, а затем и в других диапазонах спектра.

Масштабирование результатов выполненных исследований позволяет предвидеть такую иерархически сложенную многослойную структуру шарового звездного скопления с умеренной массой центрального тела. Большие скорости тел и их близкое расположение на внутренних слоях могут способствовать более частым их столкновениям, чем в рассмотренных структурах, что может способствовать их разрушению. Поэтому, чтобы удостовериться, что такие скопления возможны, необходимо создавать их модели и исследовать их эволюцию. Эти модели можно создавать на основании многослойных структур, эволюция которых от первоначально организованного состояния до установившегося уже произошла, например, на основании 15-слойной структуры MS15c49b.dat в момент  $T = 0.779$ . Тогда на исследование эволюции таких шаровых скоплений потребуется значительно меньше времени.

В отличие от 34-слойной структуры для 15-слойной потребуется создавать не три модели центрального тела, а несколько больше. Например, при семи моделях масса периферийного тела на внутреннем слое будет равна 2.2 массы Юпитера. При этом период его обращения станет на 8 порядков меньше, что вызывает сомнение в устойчивости такой структуры. При трех моделях центрального тела масса периферийного тела на внутреннем слое будет равна 51.4 массы Юпитера, ее полуось равна  $1.96 \cdot 10^{-2}$  пк или 4047 AU, а период –  $9.13 \cdot 10^{-2}$  года или 33.4 дня. В этом случае масса центрального тела равняется 238 масс Солнца, т.е. в 10 раз меньше, чем без модели центрального тела (табл. 3). Шаровое скопление будет содержать 23465 тел, а параметры его 15 наружных слоев будут такие как в табл. 3 для 15-слойной структуры. Нам представляется, что такая иерархическая модель шарового скопления будет устойчива.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 15-слойной структуре также как и в структурах с пяти и с десяти слоями происходит столкновение и укрупнение тел. Но со временем количество столкновений уменьшается и скопление переходит в установившуюся форму своего существования. Часть звезд при своём движении вокруг центра масс скопления могут объединяться в созвездия. В созвездии происходит относительное движение звезд вокруг его центра масс.

Орбиты звёзд расположены в разных плоскостях. Их орбитальные моменты количеств движения из-за взаимодействия изменяются, но момент количество движения всего скопления остаётся неизменным. По величине он может достигать половине суммы модулей орбитальных моментов всех звёзд.

При слиянии звёзд они приобретают дополнительные вращение и температуру. Оси вращения звёзд имеют разное направление. Суммарный момент количества вращательного движения по направлению не совпадает с направлением суммарного орбитального момента, а по величине он в сотни тысяч раз меньше.

Существование шарового скопления обусловлено притяжением центрального тела и взаимным притяжением звезд друг к другу. С увеличением количества слоёв относительная масса центрального тела снижается с 0.87 при пяти слоях до 0.14 при 34 слоях. Однако в абсолютном выражении она остаётся на уровне нескольких тысяч солнечных масс. Выполненные модели центрального тела в виде многослойных структур показывают, что масса центрального тела можно уменьшить на один-два порядка. Однако скорость движения звезд на внутренних слоях становится большой, что может привести к разрушению скопления. По-видимому, должна существовать минимальная масса центрального тела, меньше которой шаровое скопление не может существовать.

Настоящая работа выполнялась в рамках темы 121041600047-2. Исследования эволюции многослойных структур выполнялись на суперкомпьютерах ЦКП Сибирский Суперкомпьютерный Центр ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск. Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Локтин А.В., Марсаков В.А. Лекции по звёздной астрономии. Учебно-научная монография. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет. 2009. 280 с.
2. Смутьский И.И. Теория взаимодействия. Новосибирск: Из-во Новосиб. ун-та, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1999 г. – 294 с. – [http://www.ikz.ru/~smulski/TVfulA5\\_2.pdf](http://www.ikz.ru/~smulski/TVfulA5_2.pdf).
3. Смутьский И.И. Осесимметричная задача гравитационного взаимодействия N-тел // Математическое моделирование. – 2003. – № 5. – т. 15. – С. 27-36. – <http://www.smul1.newmail.ru/Russian1/IntSunSyst/Osvnb4.doc>.
4. Смутьский И.И. Сферически распределенные структуры. Институт криосферы Земли СО РАН. – Тюмень, 2016. – 43 с. – Рус. Деп. в ВИНТИ 22.08.2016. – № 112-B2016. – <http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/SphDsSt2.pdf>.
5. Смутьский И.И. Периодические орбиты N тел на сфере // Космические исследования. – 2020. – № 1. – т. 58. – С. 49-60. – DOI: 10.31857/S0023420620010070. <http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/PrdOrNBS3f.pdf>.
6. Смутьский И.И. Многослойные модели шаровых звездных скоплений. Часть 1 // Сложные системы. – 2022. – № 1 (42). – С. 43-67.
7. Smulsky J.J. The System of Free Access Galactica to Compute Interactions of N-Bodies // I. J. Modern Education and Computer Science. – 2012. – No. 11. – P. 1-20. – DOI: 10.5815/ijmecs.2012.11.01. <http://www.mecs-press.org/>.
8. Talpur J. A Guide to Globular Clusters. Keele University, 1997. – P. 18. – URL: <https://www.astro.keele.ac.uk/workx/globulars/globulars.html>.

#### MULTILAYER MODELS OF GLOBULAR STAR CLUSTERS. Part 2

**Smulsky J.J.** (Dr. Sci. (Physics and Mathematics), prof.)

Institute of Earth's Cryosphere, Tyumen, *Russian Federation*; [jmulsky@mail.ru](mailto:jmulsky@mail.ru)

**Abstract.** As a result of solving the problem of gravitational interaction of N bodies, the evolution of 15-layer structures is studied. The processes of combining bodies into constellations

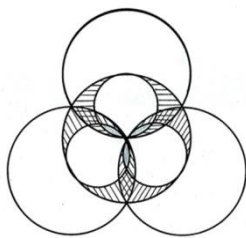
inside a globular cluster are investigated and the relative motions in them are considered. These studies were carried out in dimensionless form. As a result of the scale transition, the parameters were recalculated to the conditions of globular clusters. Additionally, structures with 24 and 34 layers are considered. The periods of rotation and temperatures of merged stars are determined. Attention is paid to decreasing the mass of the central body in the considered models of globular clusters. For this purpose, multilayer models of the central body were used. They allow reducing the mass of the central body by 1-2 orders of magnitude.

**Key words:** *N*-body problem, solution, globular star clusters, properties

#### REFERENCES

1. Loktin A.V., Marsakov V.A. Lekcii po zvezdnoj astronomii. Uchebno-nauchnaja monografija [Lectures on stellar astronomy. Educational and scientific monograph]. Rostov-na-Donu: Juzhnyj federal'nyj universitet, 2009. 280 p.
2. Smul'skij I.I. Teorija vzaimodejstvija [The theory of interaction]. Novosibirsk: Iz-vo Novosib. un-ta, NIC OIGGM SO RAN, 1999. 294 p.  
URL: [http://www.ikz.ru/~smulski/TVfulA5\\_2.pdf](http://www.ikz.ru/~smulski/TVfulA5_2.pdf).
3. Smul'skij I.I. Osesimmetrichnaja zadacha gravitacionnogo vzaimodejstvija *N*-tel [The axisymmetric problem of gravitational interaction of *N*-bodies]. *Matematicheskoe modelirovanie [Math Modeling]*. 2003. Vol. 15. No. 5. P. 27-36.  
URL: <http://www.smul1.newmail.ru/Russian1/IntSunSyst/Osvnb4.doc>.
4. Smul'skij I.I. Sfericheski raspredelemnnye struktury [Distributed structures on the sphere]. Tjumen': Institut kriosfery Zemli SO RAN. Dep. v VINITI. 2016. No. 112-B2016. 43 p.  
URL: <http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/SphDsSt2.pdf>.
5. Smulsky J.J. Periodic Orbits of *N* Bodies on a Sphere. *Cosmic Research*. 2019. Vol. 57. No. 6. P. 459-470. DOI: 10.1134/S001095251906008X.  
URL: <http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/PrdOrNBS3Ej.pdf>.
6. Smulsky J.J. Multilayer models of globular star clusters. Part 1 // *Complex systems*. 2022. No. 1 (15). P. 37-59.
7. Smulsky J.J. The System of Free Access Galactica to Compute Interactions of *N*-Bodies. *I.J. Modern Education and Computer Science*. 2012. No. 11. P. 1-20. DOI: 10.5815/ijmecs.2012.11.01. URL: <http://www.mecs-press.org/>.
8. Talpur J.A. Guide to Globular Clusters. Keele University, 1997. 18 p.  
URL: <https://www.astro.keele.ac.uk/workx/globulars/globulars.html>.

УДК 159.91



## ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПСИХИКИ И СОЗНАНИЯ. ЭВРИСТИЧЕСКИЙ И СИСТЕМНО-СЕТЕВОЙ МЕХАНИЗМЫ

**Лисин В.В.** (д.мед.н.)

Москва, РФ; [vvlissin@gmail.com](mailto:vvlissin@gmail.com)

**Аннотация.** Предлагается модель эвристического механизма формирования перцептивных образов, рассматривается роль мышечной системы в преобразовании имплицитных перцептивных образов в эксплицитные психические образы, в нейрофизиологическом аспекте обсуждается связь референта и знака. Предлагается трактовка сознания как внутрисистемного процесса обмена образами между субъектами.

**Ключевые слова:** кора больших полушарий, таламус, распределенная система, мышечная синергия, перцептивный образ, психический образ, сознание.

### ВВЕДЕНИЕ

В науках о мозге накоплено много феноменологических и экспериментальных данных о структуре и процессах в отдельных образованиях мозга и взаимосвязи между ними. В исследованиях результативно доминирует системный подход. Но исследования механизмов взаимодействия систем мозга в построении целенаправленного движения и поведения, особенно в условиях неопределенности, до сих пор не получили должного развития [28].

В связи с этим предпринята попытка анализа функционирования центральной нервной системы в естественных условиях и разработка модельных представления о формировании в мозге управляющих сигналов и перцептивных двигательных образов. Вполне закономерно встал вопрос о механизме преобразования дискретных высокочастотных нейрональных процессов в аналоговые мышечные движения и в континуальные процессы свойственные психическим явлениям. В процессе работы необходимость разработки моделей сопряженного функционирования центральной нервной и мышечной систем стала очевидной. С нейрофизиологических позиций рассматриваются взаимоотношения образов знака и референта в семиотической деятельности.

Существует также проблема, состояние которой многие ученые расценивают как “трудный вопрос” или даже как провал в познании. Это взаимосвязь нейрональных процессов и сознания [27, 10].

Вернер В. пишет, что «Существующие дефиниции сознания не только многозначны, но и метафоричны, само же понятие ускользает от однозначных дефиниций» [4].

Не трудно заметить, что в подавляющем большинстве исследований анализируются проявления сознания в сфере феноменологии.

Видимо следует все же задаться вопросом: какие мозговые процессы могут быть ответственны за все разнообразие феноменальности? И что в мозге и в организме изоморфно энергетическим процессам в окружающей среде? Эти вопросы и определили задачи настоящего исследования.

Полагаем что, предложенная трактовка сознания как интерактивного коммуникационного процесса обмена означенными психическими образами может объяснить физическую непрерывность между мозговыми нейрональными процессами и сознанием.

### **1. ПЕРЦЕПТИВНЫЙ ЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ МОЗГА.**

Сенсорные афферентные системы всех модальностей организованы строго сомато-топически. Пути импульсных потоков достаточно четко пространственно определены. Процессуально сенсорные импульсные потоки характеризуются принципиальной стохастичностью – динамичность внешних воздействий и не стабильность функциональных параметров рецепторов и нейронов. В целом сенсорный перцептивный поток нервных импульсов хаотичен [17].

В интернейронном пуле сегментарного аппарата спинного мозга и ядрах черепно-мозговых нервов (первое переключение в единичном афферентном пути) происходит конкурентное взаимодействие между сенсорными единицами (латеральное торможение), обособляются наиболее активные сенсорные единицы.

На уровне второго переключения - релейные ядра таламуса - стохастический характер потоков импульсов в сенсорных единицах и хаос в общем афферентном потоке сохраняются.

Нельзя не обратить внимание на тот замечательный факт, что все огромное число аксонов афферентных нейронов соматосенсорных и проприоцептивных модальностей проецируются на релейные нейроны пула одного небольшого по размеру ядра. Это - дорзо-вентральное ядро таламуса. Многочисленными исследованиями показано, что афферентные влияния от кожи, мышц, суставов и сухожилий проецируются в соматосенсорные зоны коры через единый пул нейронов задне-вентрального таламического ядра.

Особенно важно, что проприоцептивные импульсные потоки от скелетных мышц, мышц глазодвигательного и речедвигательного аппаратов направляются в кору через одно и тоже релейное ядро таламуса.

Такая скупенность всего множества сигнальных путей в одном структурном образовании с необходимостью наводит на мысль, что преобразование всех соматосенсорных и проприоцептивных потоков всех модальностей на этом этапе происходит одновременно и посредством единого механизма.

Но, ретинальная (зрительная) и слуховая рецепции имеют отдельные от проприоцептивной рецепции пути через коленчатые тела. Из этого следует, что зрительная (ретинальная), слуховая и соматосенсорная сигнализация обрабатываются обособленно и раздельно. Тем не менее, механизм обработки сигналов однотипный в трех указанных структурах.

Хаотические афферентные потоки импульсов, направленные на релейные нейроны таламуса, не могут создать какую-либо организованную активность в пуле этих нейронов. Необходим некий внешний фактор для извлечения организующего сигнала из хаотического перцептивного процесса.

Известно, что в таламусе имеет место структурная и функциональная связь между таламокортикальными нейронами (ТКН) заднего вентрального ядра и нейронами таламического ретикулярного ядра (ТРН) [34].

Особенность, цитоархитектоники ретикулярного ядра таламуса состоит в том, что сеть интернейронов этого ядра способна генерировать ритмичную импульсную активность в режиме пачек (пакетов) [9].

Стало быть, на таламокортикальных нейронах (ТКН) релейных ядер таламуса разыгрывается взаимодействие двух разнородных потоков импульсов: сенсорный хаотический и организованный в пачки ритмичный поток, исходящий из ретикулярного ядра.

Воздействие пачечной активности ретикулярного ядра таламуса на все ТКН может проявляться в виде следующих эффектов. Общее облегчающее влияние пачки импульсов находит отклик в ТКН, которые к моменту воздействия пачки достаточно деполяризованы или уже разряжаются, т.е. не испытывают эффективного тормозного влияния. В результате активность множества деполяризованных ТКН усиливается и пролонгируется. Действие латерального торможения, инициированного ими, так же пролонгируется, множество тормозимых ТКН устойчиво блокируется.

Таким образом, сенсорно обусловленный хаотический процесс в ТКН останавливается и преобразуется в иной процесс, имеющий упорядоченный организованный характер. Тонически работают только те ТКН, которые к моменту воздействия пачки импульсов ТРН-нейронов были наиболее активны. Формируется подмножество симультанно и устойчиво работающих ТКН.

ТКН релейных ядер таламуса проецируют свое возбуждающее влияние на нейроны колонок коры, формируется соответствующее множество активных колонок коры. Возбужденные колонки проецируют влияние на ТКН тех же ядер таламуса. [32]. Посредством этого механизма обособляется и пролонгируется активность избранных колонок ассоциативных зон коры.

Возникает множество возбужденных симультанно работающих колонок коры самой разной локализации. Между этими колонками может и не быть внутри корковых тангенциальных связей, но симультантность их работы, функционально связывает их. Эту констелляцию возбужденных колонок можно рассматривать как метаустойчивое функциональное их объединение (ФОК).

В дорзовентральном ядре таламуса локализуются также таламокортикальные нейроны, которые получают афферентацию от колонок ассоциативных зон коры (...). Импульсные потоки в таких трансталамических связях колонок коры так же, как и сенсорные потоки подвержены трансформации под влиянием пачечных ритмов. В результате в ассоциативных зонах коры также формируются ФОК, но инициированного афферентацией коркового происхождения.

В ретинальной зрительной системе, в латеральном коленчатом теле, происходит аналогичный процесс. Импульсные потоки от ретинальных клеток также хаотичны. Известно, что релейные клетки латерального геникулярного ядра (как и клетки других таламических ядер) проявляют два различных режима реакции: тонический и пакетный. [29]. Было показано, что тонический режим характерен для состояния бодрствования, в то время как пакетный режим для периода сна. В условиях сна доминирует ритмичный пакетный поток импульсов из парабрахияльной ретикулярной области, поэтому проявляется пакетный режим работы релейных нейронов. В период бодрствования, когда действует интенсивный ретинальный поток импульсов, пачки импульсов из парабрахияльной области реорганизуют хаотический ретинальный поток в тонический режим активности одних релейных нейронов и заторможенное состояние

в других. Соответственно в зрительной коре также возникает мозаика ФОК, отображающая множество наиболее активных афферентных зрительных единиц.

ФОК возникают как событие в перцептивном процессе. Именно взаимодействие разнородных потоков импульсов на нейронном пуле релейных ядер таламуса обеспечивает эвристический характер возникновения этого события.

Как уже отмечалось, между колонками ФОК может и не быть непосредственной структурной связи, но simultанность их работы функционально формирует ФОК как единый комплексный командный сигнал.

Период активности единичного ФОК определяется интервалом между пачками. При ритме 10 гц длительность интервала составляет 100 мсек, т.е. смена состава ФОК происходит 10 раз в секунду. Вариации ритма пачечных потоков определяет темп возникновения очередных ФОК.

Необходимо обратить внимание, что формирование одиночного ФОК происходит не алгоритмически и не программно, но инициируемое независимыми процессами во внутренней и внешней средах.

Формирующийся на основе пачечного ритма временной ряд ФОК создает вектор команд, обуславливающий актуальное ситуационное реагирование, отображая изменения, происходящие во внешней и внутренней среде организма. Полагаем, что этот механизм может обеспечить возможность адекватного ситуационного реагирования.

Эвристический механизм мозга описан здесь как общий видовой принцип функционирования. В онтогенезе могут формироваться структурные особенности (или аномалии) в цитоархитектонике нейронных пулов ядер таламуса и структур коры, что может обуславливать различные индивидуальные варианты реагирования. К примеру, некоторые синестопатии.

## **2. ЭФФЕРЕНТНЫЕ ВЛИЯНИЯ КОРЫ БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ НА ИЕРАРХИЧЕСКИ НИЖЕЛЕЖАЩИЕ СТРУКТУРА МОЗГА**

Стационарная структурно-функциональная организация коры довольно хорошо изучена. Вертикально ориентированная организация в виде нейронных колонок и модулей свойственна всем зонам коры. Колонки проекционных и ассоциативных зон коры однообразны. В онтогенезе, в процессе обучения, колонки структурно связываются в распределенные системы. Эта фило- и онтогенетически возникшая структурно-функциональная организация коры является основой системного механизма видového и индивидуального реагирования. Эвристический механизм обеспечивает ситуационное реагирование.

Согласно теории Маунткасла В. все структурные образования мозга организованы по модульному принципу. Модуль представляет собой локальную нейрональную цепь со множеством входов и выходов, в которой происходит преобразование разнородных потоков импульсов в соответствии с общими свойствами цепи и ее внешними связями. Модуль является полифункциональной единицей, принимающей импульсы из различных отделов мозга и обеспечивающей возможности для сбалансированного взаимодействия структурно-функциональных образований мозга [19].

Каждая колонка коры (пирамидные клетки) имеет эфферентную мишень в виде нейронов, входящих в состав модуля определенного стволового и спинального образования. Симультанная активность колонок ФОК представляет собой

упорядоченный сигнал-команду эфферентных нейронов колонок коры для нижележащих иерархически подчиненных структур мозга.

Этот командный сигнал, отражающий события во внешней и внутренней средах и в распределенных нейрональных системах коры, организует функционирование всех иерархически соподчиненных образований мозга.

Функционирование подкорковых, стволовых и спинальных структур организуется на основе возникающих в онтогенезе распределенных нейрональных систем. Эвристический механизм обеспечивает ситуационно возникающие сопряжения распределенных систем. Эти механизмы лежат в основе организации реагирования, адекватного происходящему во внешней среде и возможностям организма. Конstellации синергичных и антагонистичных межмодульных отношений обеспечивают динамичность их участия в различных актах сенсомоторного поведения.

Группы модулей в разных и часто далеко отстоящих друг от друга структурах образуют сопряженные распределенные системы. Отдельный модуль такой структуры может быть членом нескольких (хотя и не многих) распределенных систем. Распределенные системы являются звеньями, связующими афферентные перцептивные системы мозга и определенные структуры моторного выхода – ансамбли мотонейронов и мышц [19, 15].

### **3. ПЕРЦЕПТИВНЫЕ ОБРАЗЫ И МЫШЕЧНЫЕ СИНЕРГИИ.**

Итак, ФОК, в соответствии с проекциями аксонов колонок, дифференцированно активизирует нейроны модулей в иерархически нижележащих структурах [16].

Есть основания полагать, что активация стволовых структур мозга происходит в определенной очередности.

Нейроны пирамидного тракта непосредственно моносинаптически активизирует прежде всего гамма- мотонейроны [7]. Иницируемые последними афферентные потоки от интрафузальных мышечных волокон, обусловленные также актуальным состоянием мышц, оказывают восходящее влияние на стволовые двигательные структуры.

В составе корковых нисходящих влияний имеет место экстрапирамидная составляющая. Активация пирамидных нейронов вызывает генерацию тормозных потенциалов в корково-рубальных нейронах, т.е. существуют субординационные отношения пирамидных и экстрапирамидных (в частности, кортико-рубальных) влияний. Причем задержка активности кортико-рубальных нейронов составляет порядка 50 мсек.

Организуется два встречных потока импульсов на нейроны стволовых и спинальных структур: корковый нисходящий командный и мышечный проприоцептивный восходящий модулирующий.

Распределение импульсной активности в этих потоках обуславливает селективное возбуждение нейронов модулей различных структур. Взаимное влияние этих потоков организует и индуцирует активацию определенных распределенных систем.

Процесс формирования активности распределенных систем отчетливо проявляется феноменом “преднастройки” сегментарного аппарата спинного мозга, описанным в работах В.С. Гурфинкеля и др. [8].

В последующих исследованиях это находит подтверждение. Показано, что в премоторной период, т.е. до начала импульсной активности мотонейронов и

мышечного сокращения, происходят изменения возбудимости в мотонейронных пулах спинного мозга, соответствующие заданному сигналу [14].

Другими словами, в период преднастройки определяется состав ансамбля мышц, синергичная работа которых будет реализовать предстоящее движение.

Возникает системно организованное метаустойчивое состояние распределенной нейрональной активности, которое можно обозначить как *перцептивный образ*. Одновременно могут быть активны несколько перцептивных образов. Это дает возможность параллельно совершать разнородные действия. К примеру, локомоция, восприятие и речь.

Актуальный перцептивный образ содержит предпосылки для формирования последующего образа и является как бы исходным положением для перехода к очередному образу. Эти предпосылки обусловлены, в частности, инертностью мышечных сокращений.

Человеку не дано осознанно контролировать перцептивные процессы формирования образов. Но он можем произвольно или непроизвольно создавать (или разрушать) внешние предпосылки и условия формирования перцептивных образов и их последовательности.

Можно сказать, что перцептивный образ существует в двух сопряженных ипостасях: структурно-процессуальная интериоризация событий внешнего мира и управляющая система для распределенных функций, т.е. мышечных синергий.

Попутно следует отметить, что активно действующий в течении определенного периода времени перцептивный образ вызывает специфические устойчивые морфологические изменения (новые нейроны, дополнительные связи между нейронами и эффективность синаптических процессов) в задействованных распределенных нейрональных системах. В результате приобретенные изменения в структуре и элементах распределенной системы стабилизируют ее, и облегчает её активацию в последующем даже при неполной версии командных стимулах, имевших место ранее [15].

Предположение о том, что таламо-париетальная система участвует в создании динамического целостного полимодального образа окружающей среды и самого организма, обеспечивая тем самым ориентировку организма в конкретной ситуации, высказывалось и ранее [1].

Полагаем, что предложенный нами эвристический механизм может обеспечить формирование комплексных моно- и полимодальных перцептивных образов, их последовательность и тем самым организовать ситуационное реагирование. В частности, действие эвристического механизма в таламокортикальном комплексе и возникновение метаустойчивой активности сопряженных распределенных систем в коре и стволовых структурах мозга может лежать в основе замыкания условного рефлекса.

#### 4. МЫШЕЧНАЯ СИСТЕМА И ПСИХИКА

Традиционно работа мышечной системы организма рассматривается только с точки зрения биомеханики и гемодинамики. Общепринято считать, что главной, и даже может быть единственной, жизненно важной функцией мышечной системы является двигательная. Связь психики и мышечного движения обычно определяется термином «психомоторика». Действительно, наиболее наглядно и ясно проявляется то, что мышечная система есть силовой агрегат.

Однако, мышцам принадлежат еще по крайней мере две не менее важных функции.

**Мышца как сенсор.** Противодействие внешним механическим воздействиям придает мышцам свойства сенсора (измерителя сил) этих воздействий. Силовой эффект экстрафузальных волокон переживается как собственное состояние. Он проявляется столь наглядно и знакомо, что, по-видимому, не требует дополнительных доказательств. Всем хорошо известны чувства механического напряжения, противодействия, преодоления. Речь, разумеется, идет об экстрафузальных силовых волокнах мышц, которые, как известно, создают силовые эффекты, но не имеют собственного рецепторного аппарата. Аfferентные потоки импульсов от рецепторного аппарата интрафузальных мышечных волокон обеспечивают организацию функционирования высокочастотных внутримозговых процессов. Они (интрафузальные волокна) не создают силового эффекта мышцы в целом, достаточного для совершения проявленного движения, но обуславливают организацию перцептивного образа.

**Мышца как частотный преобразователь.** Мышцам присуща еще одна важная функция. Как отмечалось выше нейрональные импульсные процессы высокочастотны. Длительность нервного импульса (потенциала действия) 1-2 мсек. Частота импульсов в межнейрональных связях достигает 100 в сек.

Длительность сокращения одиночного мышечного волокна, вызванного одиночным нервным импульсом, составляет в различных мышцах от долей секунды до десятков секунд.

Суммация одиночных сокращений моторных единиц ведет к плавному увеличению интенсивности общего сокращения мышцы. Инерционность мышц обуславливает преобразование импульсных нейрональных процессов в аналоговые процессы мышечных сокращений. Силовой эффект синергично работающего ансамбля мышц воспринимается как континуальное изображение.

Мышечные силовые эффекты эксплицитны для самого индивида и переживаются непосредственно как собственное физическое состояние. Это состояние можно именовать как **психический образ**.

В публикациях и ранее высказывалось предположение, что “наши сознательные состояния могут быть представлены как естественные, физические состояния” [13]. Предлагаемая нами трактовка психического образа является подтверждением и объяснением приведенного положения.

Однако очевидно, что психические образы, как таковые, характеризуется семиотической незавершенностью, так как обладает эксплицитностью только для самого индивидуума.

Общая коммуникационная эксплицитность и информационное значение психическим образам придается посредством того, что индивидуум обозначает его, но не в терминах мышечных сокращений, а в терминах проявленных результатов действия, т.е. каузально связывая с кинематикой совершаемого движения тела, статикой позы, и/или с предметами, находящимися в поле зрения и на которые направлено действие.

Обозначенный психический образ организуется в процессе сопряженного функционирования скелетно-мышечного, глазодвигательного и речедвигательного аппаратов.

Дело в том, что, как отмечалось выше, все проприоцептивные потоки импульсов от скелетных мышц и мышц глазодвигательного и речедвигательного аппаратов проходят через дорзо-вентрального ядра таламуса и одновременно подвергаются преобразованию посредством эвристического механизма. В коре больших полушарий формируются активность общих для них ФОК и сопряженные распределенные системы в подкорковых моторных структурах. Возникает комплексный образ, содержащий образы референта и знака. Достаточно продолжительная активная деятельность речедвигательного аппарата приводит к созданию устойчивых нейрональных распределенных систем и естественных мышечных синергий (слов).

Будучи обозначенным психический образ, созданный в виде мышечных синергией, становится образом “пригодным” для использования в психических процессах: мышление, воображение, память и общение.

Разнообразие синергичных действий мышечных ансамблей вполне сопоставимо с разнообразием психических образов и психических процессов. Сопоставимы они и по временным характеристикам.

Сенсорная функция поперечнополосатых мышц имеет весьма большое значение для восприятия предметов окружающего пространства и частей собственного тела.

Сенсорная функция гладких мышц внутренних органов проявляется восприятием их состояния и посегментарной локализации.

Силовые эффекты ансамблей мышц – это то единственное, что мы можем ощущать, воспринимать.

Инерционность мышечного сокращения обуславливает временные характеристики интеграционных нейрональных процессов. В частности, временные параметры работы мышц обуславливают длительность существования перцептивных и психических образов.

Нервная и мышечная системы полноценно функционировать могут только в неразрывном сопряжении, в функциональном единстве.

Сформировавшийся перцептивный образ создаёт распределение возбуждения в мотонейронах и координированную активность мышц в естественных синергиях. ИмPLICITный перцептивный образ организует эксплицитную работу мышечных синергий.

Трансформация перцептивного образа в психический образ происходит посредством формирования функционального комплекса: актуализированные распределенные нейрональные системы и ансамбли мышц глазодвигательного, речедвигательного, опорно-двигательного аппаратов, гладких мышц систем энергетического обеспечения. При этом важно, что перцептивный образ производит психический образ как бы в” готовом виде”.

Если мы предполагаем необходимое участие мышечной системы в формировании перцептивного и психического образов, то обязаны дать объяснение возникновения образов и процесса мышления в состоянии покоя, в состоянии релаксации мышц опорно-двигательного аппарата. Что, кстати, чаще всего и происходит. Этот процесс может реализоваться на уровне гамма- мотонейронов и фузимоторных мышечных волокон. Как отмечалось выше корковая пирамидная активизация гамма- мотонейронов, вызывающая активизацию интрафузальных волокон и соответственно дифференцированный афферентный поток импульсов, может формировать перцептивный образ в условиях релаксации фазических мышц, Этот имPLICITный образ может транслироваться в психический образ на уровне тонических

мышечных волокон, не создавая усилия для видимого движения. В речедвигательном аппарате этот процесс реализуется в полном объеме, т.е. с участием всех мышечных волокон, но без участия дыхания. Имеется в виду внутренняя, не озвученная речь.

Попутно необходимо отметить, что именно в целостной нервно-мышечной системе соблюдаются требования фундаментального закона Росс Эшби о необходимом разнообразии (Ashby's Law of Requisite Variety): «Чтобы управление системой было возможно, разнообразие управляющих действий должно быть не меньше разнообразия возмущений на входе в систему [30].

Высокая динамичность нейрональных процессов формирования перцептивных образов позволяет обеспечить адекватное отображение событий внешнего мира.

Именно процессы сопряженного функционирования нервной и мышечной систем позволяют организовать двигательный образ и его реализацию в соответствии с параметрами и состоянием организма и тела. Динамика силовых эффектов мышечных синергий соответствует динамике психических образов.

Трактовка психического образа как силового эффекта мышечной активности креативна и для понимания механизма психологических феноменов. Например, феномен «*фигура и фон*» в процессе зрительного восприятия. Прежде чем произойдет разделение фигуры и фона, все, что находится в поле зрения, должно быть воспринято. Воспринятое сохраняется в течении периода наблюдения за счет устойчивой длительной активности тонических волокон глазодвигательных мышц, обеспечивая существование сенсорно-перцептивного образа. Фазические волокна глазодвигательных мышц при этом реализуют саккадические движения глаз, обеспечивая восприятие отдельной фигуры и обуславливая сферу внимания.

Вопрос об объединении двигательных единиц в две большие группы (фазические и тонические) с отдельным управлением ими можно считать решённым [6].

И так, мышцы глазодвигательного аппарата, так же, как и все скелетные мышцы, состоят из фазических и тонических волокон. Эти волокна управляются отдельно. Тонические волокна длительно сохраняют свое состояние. Фазические волокна реализуют саккадические движения, посредством которых “рисуются” контур фигуры.

Раздельное восприятие тонических и фазических эффектов в целостном двигательном акте - обычное явление, которое можно продемонстрировать другими примерами: поддержание позы во время локомоции, эмоциональное состояние и конкретное реагирование и т.п.

Сопоставление временных характеристик телесных движений, работы мышц речедвигательного и глазодвигательного аппаратов с временными характеристиками процессов мышления и восприятия обнаруживает, что они находятся в одном и том же частотном диапазоне и в одном и том же смысловом контексте. Это раскрывает непосредственную физиологическую взаимосвязь между указанными процессами. Феноменологически язык, речь, общение, мышление традиционно выступают в общей психологии как неразрывно и глубинно взаимосвязанные [28].

В повседневности мы предполагаем существование у животных ощущения боли, голода, гнева и т.п. на основании их двигательного поведения.

## 5. БАЗОВЫЕ ПСИХИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

**Ощущение** нейropsychологически — это полный рефлекс и первичное базовое психическое явление. Ощущение всегда содержит две составляющие: пространственную и качественную.

На первом переключении афферентного пути происходит разделение сенсорного потока на сегментарный и восходящий. Активностью сегментарной рефлекторной дуги проявляется восприятие локализации стимула на теле. Восходящие влияния проявляют связь стимула с модальностью, т.е. с энергетической спецификой стимула. Последнее обусловлено сомато - топически организованной локализацией представительства сенсорных модальностей и реакцией соответствующих гладких мышц.

Ощущение, именуемое как **квалиа**, имеет особый генез. С позиций аналитической философии квалиа представляет собой нерешаемую проблему, вплоть до исключения ее из понятийного аппарата.

По мнению Усковой Е.В.: “ Понятие квалиа, или качественная окраска наших ментальных состояний, и почему эта окраска вообще существует и каков ее практический смысл - вот те вопросы, которые стоят перед учеными [26].

Прежде всего, с позиций нейрофизиологии необходимо отметить, что квалиа по природе также есть полный рефлекс, но рефлекс, который заканчивается активностью гладких мышц (преимущественно мышц кровеносных сосудов). Субъект, как правило, не связывает и чаще всего не может связать каузально это ощущение с активностью соответствующих гладких мышц, поэтому в квалиа эксплицитно не проявляется собственная пространственная составляющая.

Неопределенность в восприятии пространственной составляющей квалиа, по-видимому, связана также и с тем, что рефлекс реализуется в надсегментарных структурах мозга. Распределение активности гладких мышц определяется процессами в лимбической системе. Энергетическое обеспечение регулируется не по сегментарному принципу, но по вертикали тела по работающим органам.

Виноградова О.С. и Эйслер Н.А. [3], применяя фотоплетизмографию сосудов области разветвления височной и лобной артерий, показали, что сосудистые реакции являются более дифференцированными, чем словесные реакции испытуемых. Авторы оставляют этот вопрос открытым.

Известно, что цветовой теста Люшера выявляет связь разновидности цвета и эмоционального состояния индивидуума. Стало быть, в восприятии цвета имеет место телесная составляющая и это реакция определенных гладких мышц. От теста Люшера не стоит ожидать высоких валидности и разрешающей способности, но сам факт существования этой связи не подлежит сомнению.

Особенно наглядно показали финские учёные в университете Аалто (Финляндия) связь эмоциональных переживаний (радость, горе и т.п.) и телесных ощущений в исследованиях с использованием метода топографического самоотчета [22]. Один из авторов этого исследования Лаури Нумменмаа пишет: «Мы часто думаем, что эмоции зарождаются в мозгу как следствие рассудочной деятельности. Но, согласно нашим данным, это тело дает сигнал мозгу, а тот уже распознает, что ощущает человек - гнев или радость».

Квалиа не имеет собственной эксплицитной пространственной составляющей, но это ощущение может связываться с какой-либо самостоятельной пространственной фигурой. Например, связь квалиа (цвета) и фигуры в зрительном восприятии. Поскольку ретинальные потоки импульсов (в отличие от проприоцептивной

афферентации), отображающие контур фигуры и цвет, обрабатываются эвристическим механизмом в латеральном коленчатом теле симультанно и в едином ритме, формируя единое ФОК, что и обуславливает чёткое цветовое оформление фигуры.

**Восприятие.** Наиболее значимой составляющей в процессе восприятия – восприятие пространства. В повседневности мир воспринимается как трехмерный. Общее объективное пространство осознается восприятием расположения и перемещения предметов реального мира. Гравитация и противодействие ей обуславливают восприятие вертикали. Перемещение предметов на плоскости земли дает представление о горизонтальных координатах. Все эти феномены воспринимаются и осознаются благодаря восприятию силовых эффектов, соответствующих мышечных синергий в глазодвигательном и скелетно-мышечном аппаратах.

Индивидуальные обозначения направлений: право- лево, верх -низ, впереди-сзади, свидетельствуют о существовании в виде образов непосредственного “персонального пространства”, определяемого относительно тела. Индивид всегда находится в начале координат персонального пространства. Можно полагать, что осознание собственного “Я” и начинается с восприятия персонального пространства. Восприятие индивидуального пространства также всецело связано с восприятием распределения активности ансамблей мышц.

Восприятие пространства весьма существенный фактор. Организующее начало для всех ментальных процессов. Более того, время мы описываем в терминах пространства. Именно работа мышц и непосредственное восприятие их силовых эффектов обеспечивают активное присутствие, возможное восприятие и деятельное участие человека в событиях реального мира.

**Мышление.** О мышлении метафорически можно сказать – это спектакль образов. Но не всякий спектакль образов есть мышление. Возможна случайное возникновение последовательности эклектических образов.

Существуют два вида мышления соответственно двум видам образов: имплицитное и эксплицитное.

Имплицитное мышление происходит на уровне перцептивных образов. Это чисто физический процесс, который не воспринимается и не поддается непосредственному контролю субъекта. Однако субъект может создавать условия для формирования того или иного характера и содержания этого процесса.

Эксплицитное мышление происходит на уровне психических образов. Именно на этом уровне субъект может осознавать процесс мышления и может осуществлять контроль за собственным мышлением, поведением и деятельностью в целом. Субъект имеет возможность оценить соответствие психического образа реальному предмету и явлению.

## **6. СОЗНАНИЕ – ИНТЕРАКТИВНЫЙ ВНУТРИ СИСТЕМНЫЙ ПРОЦЕСС.**

На основе изложенного в предыдущих разделах создается возможность рассмотреть сознание в нейрофизиологическом аспекте, т.е. как процесс, обеспечивающий разнообразие образов в сфере психики.

Для начала приведем максимально простой, тривиальный пример. Два человека. Каждый из них носитель только родного языка. Языки у них разные.

Каковы содержание и уровень взаимодействия между нашими субъектами? Они зрительно воспринимают друг друга, слышат друг друга. Могут, например, по мимике

почувствовать отношение друг к другу. Могут мысленно что-то предположить друг о друге. Могут любезно приветствовать друг друга.

Но, что они не могут так это обменяться знаниями, выработать совместное знание. Полное взаимно непонимание. О каком сознании может идти речь? Вступивший в общение переводчик принципиально изменяет ситуацию.

Рассмотренный пример общения между субъектами демонстрирует: психические процессы функционируют в полном объеме, но без переводчика, в общении - некий “вакуум”. Совместного знания (со-знания) не может возникнуть. Другими словами, останавливается процесс обмена образами. Этот “вакуум” и есть “место”, предназначенное для того, что мы называем сознанием.

Такой аспект рассмотрения механизма сознания, как физического процесса, согласуется с классическим философским представлением о сознании. Так. Г. Гегель пишет: “Об объекте, как для него внешнем, “Я” получает прежде всего знание и, таким образом, является сознанием” [5].

Для определенности изложения, дальнейшее рассмотрение сознания необходимо начать с определения понятия как оно трактуется в модельных представлениях автора.

Сознание – интерактивный внутрисистемный процесс взаимодействия (общения) между субъектами посредством знаков для обмена знаниями (образами).

Стало быть, “элементами” системы являются субъекты, наделенные способностью формировать психические образы.

Системообразующими факторами являются знаки (предметы, слова). Связь знака с референтом должна быть известна участникам общения заранее. Другими словами, субъекты должны быть осведомлены о значении условно выбранного предмета или слова в качестве знака. Предварительная осведомленность о значении знака - необходимое условие эффективного общения и обмена знаниями. Приобретение этой осведомленности – процесс трудоемкий, длительный и настолько важный, что для него предназначены целые отрасли народного хозяйства – начальное, среднее и высшее образование.

В качестве знака может быть выбран любой предмет или действие (слово). О чём свидетельствует наличие множества национальных и специальных языков. Это предполагает, что связь референта и знака устанавливается как некий консенсус. В реальности между референтом и знаком действительно не существует непосредственной физической связи. Она всего лишь мыслима. По этому поводу Г. Гегель пишет: “что она (мысль) есть, но признаками существования не обладает”, т.е. идеальна [5].

Однако, существует нейрофизиологическая связь между образом референта и образом знака. Знак, как и референт, вызывают формирование перцептивного и соответственно психического образов. Психический образ, как таковой, эксплицитен только для самого индивида, но имплицитен для других. Будучи связанным с условным знаком, психический образ референта становится эксплицитным и для других участников общения.

Стало быть, установление связи между референтом и знаком предполагает формирование комплексного перцептивного образа. Другими словами, физическая связь между образом референта и образом знака существует, но как внутримозговой процесс.

Связь образа референта и образа знака создают иллюзию, что мы в мышлении оперируем предметами внешнего мира, а не психическими образами их. Эта иллюзорность исправно работает.

Если взаимодействие между предметами в природе осуществляется в соответствии с их атрибутивными свойствами и неизблемыми законами природы, то взаимодействие между ментальными образами в процессе мышления принципиально произвольно.

Как пишет Золян С.Т.: “Описывая не только то, что существует, но и что могло и даже не могло существовать. Семиотика из инструмента описания мира становится инструментом его создания и понимания” [11].

Полагаем, достаточно оснований утверждать, что идеальность потому и есть, что существует материальная (физическая) параллель ее в виде перцептивного и психического образов. Без этой параллели идеальность ничто.

Знаку присущи свойства производить овеществление результатов сознания в виде текста, изображения и т.д.

Как известно, способы и средства овеществления могут быть различны. Наряду с озвученной речью, изображением и т.п. наиболее распространенным способом является словесный письменный текст. Работа с текстом по-существу не что иное как общение с определенным субъектом-автором.

Знаки текста первично воспринимаются как обычный референт (предмет внешнего мира). При наличии осведомленности о значении знаков в мозге субъекта происходит экспрессия целостного перцептивного и за тем психического образов.

Субъект воспринимает упорядоченную совокупность знаков и на этой основе формирует собственные психические образы, знания и мировоззрение.

Полагаем, что рассматриваемый здесь относительно не сложный механизм может обеспечить все разнообразие содержания психических процессов.

Необходимо отметить, что индивидуальные психические образы одного и того же референта, принадлежащие разным субъектам, не тождественны. “Сближение” психических образов по содержанию и смыслу в процессе общения субъектов реализуется итеративно посредством последовательных уточнений деталей образов.

Есть основания полагать, что мышление более эффективно в когнитивном плане, чем сознание. Новая мысль, новая идея возникают как образ в процессе мышления и в подавляющем большинстве случаев имеют одного автора. Сознание преимущественно обеспечивает информированность.

Взаимодействие между образами в психическом процессе (мышление) происходит непосредственно в единой структурированной среде (мозг) и в едином смысловом контексте. Именно в этом процессе создается субъективная реальность индивида.

Сознание не может быть индивидуальным, индивидуальна психика. Но функциональная связь психики и сознания обусловлена тем, что эти два процесса имеют общую функциональную единицу - образ. Означенные психические образы являются ресурсом процесса сознания. Взаимодействие образов характерно и для психики, и для сознания, но осуществляются различными механизмами.

Существует проблемный вопрос о механизме влияния психики и сознания на состояние организма человека. Для того, чтобы психический образ содержал интенцию изменять состояние организма, он должен быть осмыслен относительно желаемой цели и предполагаемого действия. Возникший образ желаемого будущего состояния и

предстоящего действия активизирует соответствующие мышечные синергии (в фазическом и/или тоническом режиме) и с естественной необходимостью также активизирует сопряженные с ними механизмы их энергетического обеспечения (микроциркуляция кровообращения и метаболические процессы). В результате состояние организма целенаправленно изменяется.

Термины сознание и разум часто используются как находящиеся в одном понятийном ряду. Нам не удалось выявить или найти в публикациях каких-либо указаний на возможный нейропсихологический механизм разума. По-видимому, таковой и не существует. Именно потому, что разум - не функционал. Разум - оценочная категория результатов деятельности, поведения, опыта. Эта категория используется для квалификации возможных и проявленных результатов деятельности относительно правильности и полезности или вреда и абсурда. Часто встречаются выражения: некто поступил разумно (или не разумно) в значении правильно (или неправильно), выгодно (или не выгодно), адекватно (или не адекватно) ситуации. Другими словами, сущность понятия разум - оценка результата реализованной или планируемой деятельности. Это ценное приобретение, возникающее в сфере приобретаемого опыта.

Взаимодействие между образами в психическом процессе происходит непосредственно в единой структурированной среде (мозг) и в едином смысловом контексте. Именно в этом процессе создается субъективная реальность индивида.

В сознании же, в процессе общения, психические образы принадлежат различным индивидам. Стало быть, эти образы, возникли в различных субъективных реальностях. Обмен образами осуществляется посредством условных знаков. Значение одного и того же знака может пониматься субъектами по-разному, это вносит свои особенности в процесс формирования общего производного образа. Надо полагать, что вероятность эклектичности образов, принадлежащих разным субъектам выше, чем эклектичность образов, возникающих в процессе индивидуального мышления. Возможно поэтому адекватная реальности, новая мысль чаще возникает именно в процессе мышления и соответственно имеет индивидуального автора.

Овеществление результатов сознания в виде совокупности знаков создает иллюзорную возможность пользоваться ими (результатами) как существующими в объективной реальности. В то же время это ошибочно побуждает трактовать сознание как онтологически самостоятельную сущность. Признаками физического существования обладает знание в виде перцептивных и психических образов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В науках о мозге сложилось представление, что каждый психический процессы - восприятие, мышление, память, воображение – имеет свой собственный специфический внутри мозговой механизм. Подобно тому, как это реализовано, например, в компьютерной технологии.

На самом деле эти процессы обособлены только в сфере феноменальности. Трудно представить себе возможность эволюционного возникновения в единой структурированной среде (мозг) с единым частотно-импульсным кодом существование специфичных механизмов для каждого из феноменологически обособленных психических процессов. Обнаружить наличие и локализацию в мозге отдельных специфических структур для механизмов ответственных за отдельное функционирование этих процессов не удалось до сих пор.

Это обстоятельство наводит на мысль о существовании единого нейронального механизма, обеспечивающего все разнообразие феноменальности. Действительно, в основе и в результате любого перцептивного и психического процессов лежит единое – формирование образа (образов).

Полагаю, что предложенный эвристический и системный механизм формирования перцептивных образов и сопряженных с ними мышечных синергий обеспечивают процессуально все разнообразие семантики психической деятельности. При этом имея ввиду что, содержание и смыслы психических процессов (включая память) обусловлены событиями, происходящими во внешней и внутренней средах организма, и из них же, субъект черпает объяснительную возможность и доказательную силу. Мозг же – это перцептивный образно-событий процессор. Именно поэтому мозговые процессы неалгоритмичны, непрограммируемы и, как аналитически показывает Р. Пенроуз, невычислимы [23].

Представляет интерес интригующий вопрос о роли собственного “Я” и индивидуальной свободы воли в мышлении, поведении и деятельности, если мы утверждаем, что физический по природе процесс формирования образов и мышление имплицитны и не подконтрольны.

Дело в том, что субъект воспринимает и переживает психический образ как силовое (энергетического) явление и может “законно” привычно “приватизировать” его именно потому, что образ эксплицитен первично только для него. Сопоставляя, сравнивая силовой психический образ с силовыми явлениями внешнего мира он получает возможность взаимодействовать с происходящим в пределах доступности и пытаться воздействовать на них, контролировать их.

Действительно, человек не может объяснить, как в мозге возникает та или иная мысль, но он, как правило, объясняет, в связи с чем она возникла.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Батуев А.С. Центральные механизмы сенсорной организации. В кн.: Сенсорная организация движений. – Ленинград: Наука, 1975. – С. 23-30.
2. Васильев В.В. Трудная проблема сознания. – М.: Прогресс–Традиция, 2009. – 272 С.
3. Виноградова О.С., Эйслер Н.А. Выявление систем словесной связи при регистрации сосудистых реакций // Вопр. психол. – 1959. – № 2. – С. 101-110.
4. Вернер В. Какое сознание имеет исторический характер? // История и Современность. – 2007. – № 2. – С. 26-60.
5. Гегель Г.В.Ф. Философия духа. – Москва: АСТ, 2018. – 192 с.
6. Гидиков А. О существовании тонических и фазических двигательных единиц в мышцах человека и о различной афферентной организации их активности. В кн. Сенсорная организация движения. – Л.: Наука, 1975. – С. 70-82.
7. Гранит Р. Основы регуляции движений. – М.: МИР, 1973. – 367 с.
8. Гурфинкель В.С., Коц Я.М., Шик М.Л. Регуляция позы человека. – М.: Наука, 1965. – 256 с.
9. Данилова Н.Н. Активность мозга и ее изучение в психофизиологической школе Е.Н. Соколова // Вестн. моск. ун-та. – Сер. 14. Психология. – 2010. – № 4.
10. Дубровский Д.И. Проблема сознания. Теория и критика альтернативных концепций. – М.: ЛЕНАНД, 2018. – 397 с.
11. Золян С.Т., Модальная семиотика: основания и обоснования / МЕТОД: Московский ежегодник трудов из обществоведческих дисциплин: Сб. науч. тр. РАН. ИНИОН. – М., 2014. – Вып. 4. – 474 с.
12. Иваницкий А.М. Психофизиология сознания. – М.: Инфра-М, 1997. – 202-219 с.

13. Иванов Д.В. На пути к объяснению сознания // *Epistemology & Philosophy of Science*. – 2015. – Т. XLIV – №. 2.
14. Иванченко Е.З., СливкоЭ.И. Механизм предваряющего облегчения н-рефлексов мышц голени человека при произвольных движениях в контралатеральном голеностопном суставе // *Нейрофизиология*. – 2013. – Т. 45. – № 4. – 385-392 с.
15. Калиниченко С.Г., Матвеева Н.Ю. Самоорганизация нейронных систем и модульная архитектура головного мозга // *Тихоокеанский медицинский журнал*. – 2010. – № 4.
16. Ленков Д.Н., Сеферян Е.С. Конвергенция соматических влияний на нейронах двигательной области коры кошки. В кн.: *Сенсорная организация движений*. – Л.: Наука, 1975. – С. 140-147.
17. Лисин В.В. Концептуальная модель мозгового механизма формирования образов // *Сложные системы*. – 2021. – № 1 (38). – С. 35-55.
18. Лосев А.Ф. *Философия, мифология, культура*. – М.: Изд. политической литературы, 1991. – 169 С.
19. Маунткэсл В. Организующий принцип функции мозга – элементарный модуль и распределенная система. В кн.: *Маунткэсл В., Эйдельман Дж. Разумный мозг*. – М.: Мир, 1981. – С. 15–67.
20. Мирошниченко М.Д. Не такая трудная проблема: Франциско Варела о взаимосвязи сознания, природы и жизни // *Философские науки*. – 2018. – № 8. – С. 144-159. – DOI: 10.30727/0235-1188-2018-8-144-159.
21. Николлс Дж. Г., Мартин А.Р., Валлас Б.ДЖ., Фукс П.А. От нейрона к мозгу. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 672 с.
22. Нумменмаа Л., Глереан Э., Риита Хари, Хитанен Яри К. Телесные карты эмоций // *PNAS*. – 2014. № 111 (2). – С. 646-651. – URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.1321664111>.
23. Пенроуз Р. *Тени разума: в поисках науки о сознании*. - Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. – 688 с.
24. Смирнов И.Е., Безносюк А., Журавлёв. Компьютерный психосемантический анализ и психокоррекция на неосознаваемом уровне. - М.: Издательская группа "Прогресс" - "Культура", 1995. – 416 с.
25. Соломоник А. *Позитивная семиотика (о знаках, знаковых системах и семиотической деятельности)*. - М.: МЕТ, 2004. – 191 с.
26. Ускова Е.В. Статус «квалиа» в натуралистических теориях сознания // *Вестник пермского университета*. - Философия. Психология. Социология. – 2020. – Вып. 2.
27. Чалмерс Дэвид. Сознательный ум. В поисках фундаментальной теории. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2001. – 140 с. - ISBN: 978-5-453-00045-6, 978-5-397-03778.
28. Чуприкова Н.И. *Психика и психические процессы (система понятий общей психологии)*. – М.: Языки славянской культуры, 2015. – 608 с.
29. Шерман С.М. Режимы двойного ответа в латеральных геникулярных нейронах: Механизмы и функции. // *Cambridge University Press*: 02 июня 2009 г.
30. Эшби У.Р. *Введение в кибернетику*. – М.: «Иностранная литература», 1959. – 432 с.
31. Adam M.S., Helen E.J. The role of the thalamic reticular nucleus in visual processing // *Thalamus and Related Systems*. – Cambridge University Press, 2007.
32. Choe Yoonsuck. Role of the thalamic reticular nucleus in selective propagation of the results of cortical computation. – United States: Texas A and M University, 2005.
33. Mountcastle V. The columnar organization of the neocortex // *Oxford Journals Medicine Brain*. – 1997. – Vol. 120. – Issue 4. – P. 701-722.
34. Pinault D. The thalamic reticular nucleus: structure, function and concept. // *Brain Research Reviews*. – 2004. – No. 46. – P. 1-31.
35. Sherman S.M., Guillery R.W. The role of the thalamus in the flow of information to the cortex // *Cross. Ref. Google Scholar PubMed*. – 2002. – P. 1695-1708.

**PHYSIOLOGICAL FOUNDATIONS OF THE PSYCHE AND CONSCIOUSNESS.  
HEURISTIC AND SYSTEM-NETWORK MECHANISMS**

**Lisin V.V.** (Dr.Sci. (Medicine))

*Moscow, Russian Federation; vvlissin@gmail.com*

**Abstract.** A model of the heuristic mechanism for the formation of perceptual images is proposed, the role of the muscular system in the transformation of implicit perceptual images into explicit mental images is considered, the connection between the referent and the sign is discussed in the neurophysiological aspect. The interpretation of consciousness as within the systemic process of image exchange between subjects is proposed.

**Keywords:** cerebral cortex, thalamus, distributed system, muscle synergy, perceptual image, mental image, consciousness.

**REFERENCES**

1. Batuyev A.S., Tsentral'n'yeye mekhanizmy sensornoy organizatsii. V kn. *Sensornaya organizatsiya dvizheniy*. Leningrad: Nauka, 1975. P. 23-30.
2. Vasil'yev V.V. *Trudnaya problema soznaniya*. M.: ProgresS–Traditsiya, 2009. 272 p.
3. Vinogradova O.S., Eysler N.A. Vyyavleniye sistem slovesnoy svyazi pri registratsii sosudistyykh reaktsiy. *Voprosy psikhologii*. 1959. No. 2. P. 101-110.
4. Verner V. Kakoye soznaniye imeyet istoricheskiy kharakter? *Istoriya I Sovremennost*. 2007. No. 2. P. 26-60.
5. Gegel' G.V. F. *Filosofiya dukkha*. Moskva: AST, 2018. 192 p.
6. Gidikov A. O sushchestvovanii tonicheskikh i fazicheskikh dvigatel'nykh yedinit v myshtsakh cheloveka i o razlichnoy afferentnoy organizatsii ikh aktivnosti. V kn. *Sensornaya organizatsiya dvizheniya*. L.: Nauka, 1975. P. 70-82.
7. Granit R. *Osnovy regulyatsii dvizheniy*. M.: MIR, 1973. 367 p.
8. Gurfinkel' V.S., Kots YA.M., Shik M.L. *Regulyatsiya pozy cheloveka*. M.: Nauka, 1965. 256 p.
9. Danilova N. N. Aktivnost' mozga i yeye izucheniye v psikhofiziologicheskoy shkole YE.N. Sokolova. *Vestn. mosk. un-ta*. Ser. 14. *Psikhologiya*. 2010. No. 4.
10. Dubrovskiy D.I. *Problema soznaniya. Teoriya i kritika al'ternativnykh kontseptsiy*. M.: LENAND, 2018. 397 p.
11. Zolyan S.T., *Modal'naya semiotika: osnovaniya i obosnovaniya*. Moskovskiy yezhegodnik trudov iz obshchestvovedcheskikh distsiplin: Sb. nauch. tr. RAN. INION. M., 2014. Vyp. 4. 474 p.
12. Ivanitskiy A.M. *Psikhofiziologiya soznaniya*. M.: Infra-M, 1997. P. 202-219.
13. Ivanov D.V. Na puti k ob'yasneniyu soznaniya. *YEpistemology and Philosophy of Science*. 2015. T. XLIV. No. 2.
14. Ivanchenko YE.Z., Slivko E.I. Mekhanizm predvaryayushchego oblegcheniya n-refleksov myshts goleni cheloveka pri proizvol'nykh dvizheniyakh v kontralateral'nom golenostopnom sustave. *Neyrofiziologiya*. 2013. T. 45. No. 4. P. 385-392.
15. Kalinichenko S.G., Matveyeva N.YU. Samoorganizatsiya neyronnykh sistem i modul'naya arkhitektonika golovnoy mozga. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal*. 2010. No. 4.
16. Lenkov D.N., Seferyan YE.S. Konvergentsiya somaticheskikh vliyaniy ne neyronakh dvigatel'noy oblasti kory koshki. *Sensornaya organizatsiya dvizheniy*. L.: Nauka, 1975. P. 140-147.
17. Lisin V.V. Kontseptual'naya model' mozgovogo mekhanizma formirovaniya obrazov. *Slozhnye systemy [The complex systems]*. 2021. No. 1 (38). P. 35-55.
18. Losev A.F. *Filosofiya, mifologiya, kul'tura*. M.: Izd. Politicheskoy literatury. 1991. 169 p.
19. Maunkasl V. Organizuyushchiy printsip funktsii mozga – elementarnyy modul' i raspredelennaya Sistema. V kn.: Maunkasl V. Eydel'man Dzh. *Razumnyy mozg*. M.: Mir, 1981. P. 15-67.
20. Mirosnichenko M.D. Ne takaya trudnaya problema: Frantsisko Varela o vzaimosvyazi soznaniya, prirody i zhizni. *Filosofskiye nauki*. 2018. No. 8. P. 144–159.  
DOI: 10.30727/0235-1188-2018-8-144-159

21. Nikolls Dzh. G., Martin A.R., Vallas B.DZH., Fuks P.A. Ot neyrona k mozgu. M.: Knizhnyy dom "LIBROKOM", 2012. 672 p.
22. Nummenmaa L., Glerean E., Riita Kharii, Hietanen Yari K. Telesnyye karty emotsiy. PNAS. 2014 No. 111 (2). P. 646-651. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.1321664111>.
23. Penrouz R. Teni razuma: v poiskakh nauki o soznanii. Moskva-Izhevsk: Institut komp'yuternykh issledovaniy, 2005. 688 p.
24. Smirnov I. YE. Beznosyuk A., Zhuravlëv. Komp'yuternyy psikhosemanticheskiy analiz i psikhokorreksiya na neosoznavayemom urovne. M.: Izdatel'skaya gruppa "Progress" - "Kul'tura", 1995. 416 p.
25. Solomonik A. Pozitivnaya semiotika (o znakakh, znakovykh sistemakh i semioticheskoy deyatel'nosti). M.: MET, 2004. 191 p.
26. Uskova YE. V. Status «kvaliA» v naturalisticheskikh teoriyakh soznaniya. *Vestnik permskogo universiteta. Filosofiya. Psikhologiya. Sotsiologiya*. 2020. Vypusk 2.
27. Chalmers D·evid. Soznayushchiy um. V poiskakh fundamental'noy teorii. M: Knizhnyy dom «LIBROKOM», 2001. 140 p. ISBN: 978-5-453-00045-6, 978-5-397-03778.
28. Chuprikova N.I. Psikhika i psikhicheskiye protsessy (sistema ponyatiy obshchey psikhologii). M.: Yazyki slavyanskoy kul'tury, 2015. 608 p.
29. Sherman S. Myurrey. Rezhimy dvoynogo otveta v lateral'nykh genikulyarnykh neyronakh: Mekhanizmy i funktsii. Cambridge University Press, 2009.
30. Eshbi U.R. Vvedeniye v kibernetiku. M.: «Inostrannaya literaturA», 1959. 432 p.
31. Adam M. Sillito, Helen E. Jones. The role of the thalamic reticular nucleus in visual processing. *Thalamus and Related Systems*. Cambridge University Press, 2007.
32. Choe Yoonsuck. Role of the thalamic reticular nucleus in selective propagation of the results of cortical computation. 2005.
33. Mountcastle V. The columnar organization of the neocortex. *Oxford Journals Medicine Brain*. 1997. Vol. 120. Issue 4. P. 701-722.
34. Pinault D. The thalamic reticular nucleus: structure, function and concept. *Brain Research Reviews*. 2004. No. 46. P. 1-31.
35. Sherman S.M., Guillery R.W. The role of the thalamus in the flow of information to the cortex. Cross. Ref. Google Scholar PubMed, 2002. P. 1695-1708.