Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Владимирский филиал
Российской академии народного хозяйства
и государственной службы при Президенте Российской Федерации

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРИИ ГРУПП НАРУШЕННОЙ СИММЕТРИИ В ПРИРОДНЫХ, БИОЛОГИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Коллективная монография

Исследования выполнены при финансовой поддержке
гранта РФФИ № 18-07-00170

Владимир • 2020

УДК 311.530.1:336.012
ББК 60.65
Исп88

Рецензенты:

Бурков В. Д. – кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой «Функциональный анализ и его приложения» ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых»;

Лускатова О. В. – доктор экономических наук, профессор кафедры финансов Владимирского филиала РАНХиГС.

Исп88 **Исследование теории групп нарушенной симметрии в природных, биологических и социально-экономических системах:** коллективная монография / В. Г. Рау, К. А. Горшков, С. В. Поляков, Т. Ф. Рау, А. Н. Кисляков, И. А. Тогунов, Н. Е. Тихонюк. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2020. – 261 с.
ISBN 978-5-907140-68-4

Подход авторов монографии можно определить как «новое научно-методическое направление в учебном процессе вузов». В теоретической части работы рассматривается математическая модель групп нарушенной симметрии, классические модели симметрии кластерных систем в нанотехнологии. Прикладная часть исследований связана с примерами моделирования кластеров, особенно в живых и социально-экономических системах, которые рассматриваются на тех же принципах симметрии и нарушенной симметрии, которые исторически первыми применялись при исследовании состояний природных молекулярных систем, методами молекулярной физики и кристаллографии в нанотехнологии.

Монография предназначена для специалистов в области исследования симметрии различных систем, рассчитана на широкий круг бакалавров, магистрантов и аспирантов, обучающихся на различных направлениях очной и заочной форм обучения физических, биохимических и экономических специальностей.

Печатается по решению ученого совета Владимирского филиала РАНХиГС.

УДК 311.530.1:336.012
ББК 60.65

ISBN 978-5-907140-68-4

© В. Г. Рау, К. А. Горшков, С. В. Поляков, Т. Ф. Рау, А. Н. Кисляков, И. А. Тогунов, Н. Е. Тихонюк, 2020
© Владимирский филиал РАНХиГС, 2020

Содержание

ВВЕДЕНИЕ 5

Глава 1. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГРУПП СИММЕТРИИ И НАРУШЕННОЙ СИММЕТРИИ 7

1.1. Классическая симметрия 7
1.2. Нарушенная симметрия 11
1.3. Циклические процессы 16
1.4. Принципы сохранения и нарушения симметрии 23
1.5. Симметрия и ее нарушение в полугруппе 36

Глава 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ГРУПП НАРУШЕННОЙ СИММЕТРИИ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ 48

2.1. Классификация кластерных систем 48
2.2. Модели природных нанокластеров 48
2.3. Неорганические молекулярные кластеры 54
2.3.1. Галит 54
2.3.2. Теллурид свинца 55
2.3.3. Корунд 57
2.4. Методы анализа и моделирование малых природных кластеров (по классификации) 58
2.4.1. Масс-спектрометрия 58
2.4.2. Электронная микроскопия 60
2.5. Проблема контактов в наноструктурной системе и кластерные элементы кольца. Сборка наносистем 64
2.6. Кластеры органических соединений 72
2.7. Математическая модель эволюции для микробиологии 74
2.8. Некоторые проблемы теории эволюции на клеточном уровне и принципы симметрии 81

Глава 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ГРУПП НАРУШЕННОЙ СИММЕТРИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ 88

3.1. Понятие экономического пространства 88
3.2. Некоторые принципы симметрии социальных систем 111
3.3. Экономические циклы как трансляционная симметрия социальных систем 121
3.4. Симметрия в маркетинговых системах 128
3.5. Симметрия социальных отношений в системе многоуровневого управления 143
3.6. Исследование категории ценности с использованием принципов симметрии 149

Глава 4. ПРИКЛАДНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ АСИММЕТРИИ РЫНКОВ 161

4.1. Модель ценообразования однородного рынка с учетом асимметричности информации 161
4.2. Моделирование оптимальной цены предложения в контрактной системе государственных и муниципальных закупок 172

4.3. Метод виртуального увеличения выборки при прогнозировании редких продаж в условиях информационной асимметрии 181
4.4. Модель поведения участников розничного рынка топлива в условиях информационной асимметрии 190
4.5. Оценка эффективности рекламной кампании в социальных сетях с использованием методов имитационного моделирования 202
4.6. Интеллектуальный анализ потребительского спроса в условиях информационной асимметрии 209

Глава 5. «КЛЕЩЕВИДНАЯ» СИММЕТРИЯ (К-СИММЕТРИЯ) И ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ. ТАКСОНОМИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ 221

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 232

ПРИЛОЖЕНИЕ 237

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 252

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние научных исследований в общем представляет собой процесс взаимного проникновения концепций, принципов, моделей и методов одних наук в другие, расширяя возможности для понимания явлений, происходящих в мире природы и человека. Математический язык, применяемый для построения общих моделей, и компьютерное обеспечение делают в наши дни этот сложный процесс проникновения не только возможным, но и полезным, «ибо нет ничего практичнее, чем хорошая теория». Особая роль при этом отводится именно статистике – науке, возникшей с необходимостью, при осознании основного принципа «спонтанного (то есть случайного) нарушения симметрии», приводящего к началу любого процесса, как в природной, так и в социальной системе. Как точно выразился А. С. Пушкин, объяснив в одном небольшом известном стихотворении из четырех строк все этапы научной, творческой деятельности людей («О сколько нам открытий чудных...»), в котором последняя, четвертая строка содержит гениальное прозрение: «...И случай, Бог изобретатель». Это высказано короче, чем понимание современной фундаментальной науки о природе как о «квантовой теории неабелевых калибровочных полей со спонтанно нарушенной симметрией».

При исследовании реальных систем, объектов и их структур, в том числе подробно представленных в этой монографии и изменяющихся в процессе роста и развития, все чаще приходится обращаться к математическим моделям, относящимся к алгебраическим структурам.

Стандартным *способом описания* утверждений теории категорий являются коммутативные диаграммы. Коммутативная диаграмма – это *ориентированный граф*, в вершинах которого находятся точки – элементарные объекты, а стрелками являются морфизмы (преобразования), определяющие отношения объектов.

В ходе исследования получены данные математического моделирования фундаментальных числовых закономерностей эволюции в социальных, физических и биологических системах. Проведен анализ устойчивости систем и блоков нарушения симметрии в различных природных, биологических моделях, проанализировано применение математических моделей групп нарушенной симметрии в

прикладных экономических задачах, обобщены различные подходы и сделана разработка методологии единой концепции сохранения и нарушения симметрии в природных, биологических и социально-экономических системах.

В работе над монографией принимали участие следующие ученые:

д.ф.-м.н. профессор Рау Валерий Георгиевич, к.т.н. Горшков Кирилл Александрович, к.т.н. доцент Рау Тамара Федоровна – глава 1 «Математические основы групп симметрии и нарушенной симметрии»;

д.ф.-м.н. профессор Рау Валерий Георгиевич, к.т.н. Горшков Кирилл Александрович, к.т.н. доцент Рау Тамара Федоровна, д.м.н. профессор Тогунов Игорь Алексеевич – глава 2 «Использование теории групп нарушенной симметрии в биологических системах»;

д.ф.-м.н. профессор Рау Валерий Георгиевич, к.э.н. Тихонюк Наталья Евгеньевна, д.м.н. профессор Тогунов Игорь Алексеевич, к.т.н. Поляков Сергей Владимирович – глава 3 «Использование теории групп нарушенной симметрии в социально-экономических системах»;

д.ф.-м.н. профессор Рау Валерий Георгиевич, к.т.н. Кисляков Алексей Николаевич, к.т.н. Поляков Сергей Владимирович – глава 4 «Прикладные математические модели исследования информационной асимметрии рынков».

д.м.н., профессор Тогунов Игорь Алексеевич – глава 5 «"Клещевидная" симметрия (К-симметрия) и флуктуирующая асимметрия. Таксономия и методология исследования».

Глава 1. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГРУПП СИММЕТРИИ И НАРУШЕННОЙ СИММЕТРИИ

1.1. Классическая симметрия

В наших исследованиях групп симметрии *Grp* и нарушенной симметрии *GrpBS (ГНС* (*broken symmetry groups)* (*BSG*)) роль диаграмм играют структуры ориентированных графов, визуализированные множеством «точек» - элементов реальной структуры, а морфизмы (преобразования) изображаются направленными стрелками. Метод представления систем абстрагированием с помощью теории категорий позволяет произвести не только численную процедуру их поиска, но и «визуализацию» в наглядном виде диаграмм и ориентированных графов. Построение таблиц групп симметрии и нарушенной симметрии при этом является необходимым элементом предварительной «оцифровки» информации. Добавим необходимость последующей визуализации абстракций в выбранном пространстве возможных состояний исследуемой системы, которое будем называть «пространством возможностей».

Выбрав за основу исследований группу симметрии, получим более полную систему аксиом, чем это определено в других алгебраических структурах. Поэтому анализ и сравнение систем начнем с классической симметрии.

Материал монографии основывается на тех основных представлениях о симметрии и группах симметрии, изложенных ранее авторами этой монографии, в частности [1, 2, 3].

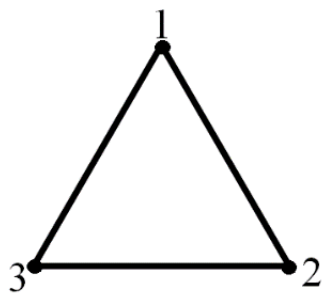


Рис. 1. Правильный треугольник

Во многих классических учебниках по теории групп [4] (с точки зрения красоты и дидактической прозрачности изложения) определение группы начинается с геометрических примеров. В

качестве такого примера может быть рассмотрена *группа преобразований симметрии* правильного треугольника (рисунок 1). Стоит напомнить, что симметричным преобразованием фигуры в геометрии называют преобразование плоскости, которое переводит фигуру саму в себя. Для равностороннего треугольника таким преобразованием может служить поворот в плоскости на 120 градусов, при этом саму процедуру преобразования можно записать с помощью двустрочной матрицы преобразования.

Так как при первом повороте (рисунок 1) вершина (1) в треугольнике переходит в вершину (2), вершина (2) – в вершину (3), а (3) – в (1), то в форме двустрочной матрицы P_1 это преобразование можно представить следующим образом:

$$\begin{matrix} 1 & 2 & 3 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 2 & 3 & 1 \end{matrix} \Rightarrow P_1 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 1 \end{pmatrix}.$$

Символом P_i обозначена операция симметрии, которая в математике называется подстановкой или перестановкой (чисел). Поворот на угол $\alpha_2 = 240^o$ представляется следующей матрицей: $P_2 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 3 & 1 & 2 \end{pmatrix}$.

Кроме одиночных преобразований симметрии можно выполнять и последовательные преобразования (сперва поворот на один угол, затем – на другой), что приводит к совместному действию (умножению) двух перестановок: $P_2P_1 = E$, где символ E будет пояснён ниже.

В виде матриц преобразования это можно записать так:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 3 & 1 & 2 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 3 \end{pmatrix} = E \ .$$

Получается, что последовательное выполнение симметричных преобразований позволяет ввести операцию умножения подстановок, соответствующих этим преобразованиям, которая в данном примере читается «справа налево»: 1 → 2 (из P_1) «и» 2 → 1 (из P_2) коротко дает общее преобразование 1 → 2 → 1, окончательно имеем: 1 → 1 (в E).

Аналогично имеем: 2 → 3 (из P_1), 3 → 2 (из P_2) и совместно: 2 → 3 → 2, т.е. окончательно 2 → 2 (в E); 3 → 1, 1 → 3, т.е. 3 → 3 (в E). Можно в расчетах использовать и более привычную запись операции умножения «слева направо», которой мы будем придерживаться далее во всех расчетах. Преобразование E называют единичной матрицей, или тождественным преобразованием, так как все точки фигуры при этом остаются на своих местах. По сути дела, такое преобразование соответствует повороту треугольника на 360 градусов (на 240°и 120°последовательно). Свойства этой матрицы, то есть выбор ее в качестве «единицы», легко проверить: $EP_i = P_i E = P_i$. Операции, произведение которых приводит к тождественному преобразованию, называются «обратными» по отношению друг к другу.

Применим полученные знания к более сложной фигуре, к правильному пятиугольнику с внутренней точкой «0» (рисунок 2). Совокупность всех преобразований пятиугольника (по рисунку 2) составит *математическую группу.* Множество бинарных произведений всех матриц перестановок представляет собой «таблицу умножения» преобразований в группе, обозначаемых g[N], и называется таблицей Кэли. Для правильного пятиугольника результат расчета таблицы Кэли для подгруппы поворотов 5-угольника (рисунок 2) представлен в таблице 1.

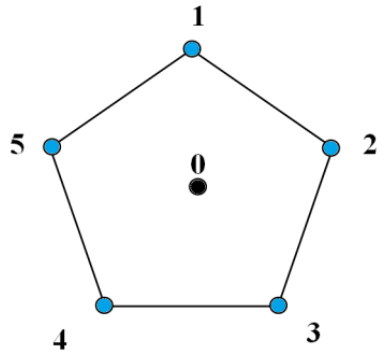


Рис. 2. Пятиугольник с центральной точкой

Таблица 1

Таблица Кэли подгруппы поворотов 5-угольника

g[0]=(0 1 2 3 4 5);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	(0)(1)(2)(3)(4)(5)
g[1]=(0 2 3 4 5 1);	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[0]	(0) (1 2 3 4 5)
g[2]=(0 3 4 5 1 2);	g[2]	g[3]	g[4]	g[0]	g[1]	(0) (1 3 5 2 4)
g[3]=(0 4 5 1 2 3);	g[3]	g[4]	g[0]	g[1]	g[2]	(0) (1 4 2 5 3)
g[4]=(0 5 1 2 3 4);	g[4]	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	(0) (1 5 4 3 2)

Расчет произведен по разработанной нами компьютерной программе MATRIX [4]. Краткая запись каждой операции (матрицы преобразования) в программе выглядит без верхней строки, то есть так, как это представлено на примере, выбранном из преобразований треугольника: $\boldsymbol{P}_2 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 3 & 1 & 2 \end{pmatrix} = g[2] = (312)$. Таким образом, набор чисел (312) в преобразовании треугольника «кодирует» операцию P_2. Аналогично для пятиугольника имеем: P_2 = g[2] = (034512).

В дальнейшем везде мы будем использовать форму записи таблицы умножения по образцу таблицы 1: в левой колонке находятся все преобразования в группе g[i], центральная часть представляет собой «таблицу умножения» операций. Добавленная сверх программы правая колонка чисел описывает каждое преобразование в виде последовательности чисел, переходящих друг в друга при циклическом преобразовании. Это, как мы увидим ниже, иногда помогает геометрической «визуализации» самого преобразования и анализу его структуры. Таблица Кэли содержит в каждой строке и в каждом столбце единичный элемент $g[0]$. Это означает, что в группе симметрии у каждого преобразования обязательно существует «обратный» элемент. Важно отметить, что, в общем случае, все возможные операции образуют перестановку (подстановку) в каждой строке и в каждом столбце таблицы Кэли. В этом случае говорят, что преобразования, создающие таблицу Кэли, описывают группу симметрии.

Подводя итоги введения групп симметрии, запишем все формальные аксиомы, определяющие математическую группу.

<u>Определение.</u> Множество А с определенной на нем алгебраической операцией (например, умножением) называется группой, если выполнены следующие условия:

1) для любых элементов группы *a, b* (принадлежащих множеству А) обязательно существует *(ab) = c,* такое, что *c* Є А (в А существует произведение);

2) для любых трех элементов *a, b, c,* Є А (принадлежащих множеству А), выполняется свойство ассоциативности: *a(bc) = (ab)c* (ассоциативность);

3) в множестве А существует такой элемент *e*, что для любого элемента *a* из этого множества выполняется равенство: *ae = ea = a* (существует единичный элемент);

4) для любого элемента a множества А существует элемент a' из этого же множества, такой, что $aa' = a'a = e$ (существует обратный элемент).

Различные множества могут являться группой относительно какой-либо операции (например, «умножение») и не являться группой относительно другой операции (например, «сложение»). Число элементов в группе называется порядком группы. Множество преобразований в структуре также может составлять группу (например, циклическую) и иметь свой порядок, определяемый количеством преобразований. Таблица умножения преобразований конечных групп симметрии называется таблицей Кэли.

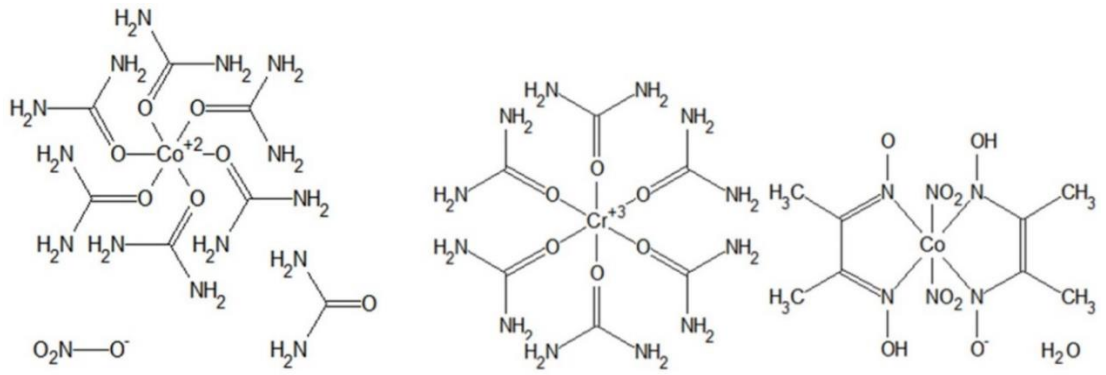
1.2. Нарушенная симметрия

В качестве реальных объектов, для описания которых применяется математический аппарат групп симметрии, могут быть рассмотрены сложные кристаллические структуры, часто искусственно выращенные в химических лабораториях. В частности к таким структурам относятся комплексные соединения, содержащие трехвалентный комплексный катион с химической формулой $[M(OCN_2H_4)_6]^{3+}$. Символ элемента М в формуле заменяет «металл». Строение вещества кристаллов изучается на молекулярном уровне методами рентгеновского структурного анализа (РСА), применяемого для расшифровки структуры твердых тел и идентификации веществ по их структуре. В краткий обзор включим лишь те структуры, о которых имеются достоверные и достаточно полные сведения, полученные в том числе авторами настоящей работы и содержащиеся в Кембриджском банке структурных данных (КБСД).

Комплексные и гетерокомплексные соединения, рассмотренные ниже, с точки зрения их макромолекулярной структуры содержат единый комплексообразующий фрагмент – октаэдрический Катион $[M(OCN_2H_4)_6]^{2+,3+}$. С целью изучения факторов, влияющих на строение Катиона и его собственную симметрию, были подобраны структуры с широким спектром Анионов и различающимися пространственными группами. Собственная, локальная симметрия Катиона анализируется с учетом полного лигандного (химический термин) окружения металла-комплексообразователя шестью молекулами карбамида $CO(NH_2)_2$.

1. $[Cr(OCN_2H_4)_6][Co(NH_3)_2(NO_2)_4]_3 \cdot 3H_2O$.
2. $[Cr(OCN_2H_4)_6][Co(NH_3)_2(NO_2)_4]_3 \cdot 0{,}5CCl_4 \cdot 1{,}5H_2O$.
3. $[Cr(OCN_2H_4)_6][Co(CN)_6] \cdot 4H_2O$.
4. $[Cr(OCN_2H_4)_6][Cr(CN)_6] \cdot 2(CH_3)_2SO \cdot 2CH_3CH_2OH$.
5. $[Cr(OCN_2H_4)_6][Co(NO_2)_6]$.
6. $[Cr(OCN_2H_4)_6][PtCl_5(OH)]Cl_4$.
7. $[Mn(OCN_2H_4)_6](ClO_4)_3$.
8. $[Ti(OCN_2H_4)_6](ClO_4)_3$.
9. $[Ti(OCN_2H_4)_6]I_3$.
10. $[V(OCN_2H_4)_6]I_3$.
11. $[Cr(OCN_2H_4)_6]Cl_3 \cdot 3H_2O$.

При анализе атомно-молекулярного строения этих веществ привлечены кроме этого, сведения о структурах следующих соединений (по данным Кембриджского банка) с реферативным поиском под именами URCONT и WORNIT, в расшифровке структур которых авторы учебника принимали участие. Продемонстрируем информацию о химическом составе этих соединений, структурные химические формулы которых представлены на рисунке 3, а также проведем краткий анализ геометрических параметров структур остальных веществ из общего списка. Особенности «языка химии» демонстрируются нами на материале, взятом из первоисточников, то есть из статей в научных журналах, что дает представление о сложности как самих структур, так и способов их описания.



а б

Рис. 3. Структурные химические формулы соединений в Кембриджском банке структурных данных: а – URCONT; б – WOKNIT

Данные из объединенного списка соединений позволяют ввести «визуализацию» общего пространственного распределения катионов и анионов в виде межмолекулярного координационного полиэдра (МКП) для структур, содержащих $[M(OCN_2H_4)_6]^{3+}$. Подробное строение «псевдогексагонального колодца» в структурах изображено на рисунке 4. Одно «звено» колодца образовано двумя системами анионных шестиугольников, повернутых на угол 20° относительно друг друга вокруг оси, являющейся катионным стержнем. В промежуток между двумя звеньями вошли молекулы анионов. Анионы окружают расположенный в центре симметрии катион на среднем расстоянии 7,1Å в МКП (расстояние в 1Å = 10^{-10} м).

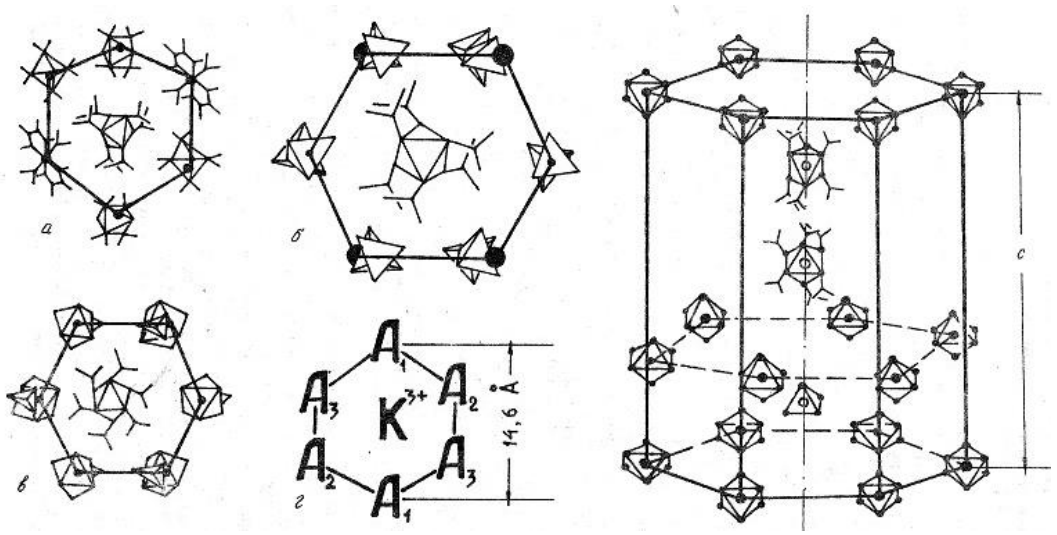


Рис. 4. Пространственное распределение катионов и анионов в молекулярном координационном полиэдре структур, содержащих $[M(OCN_2H_4)_6]^{3+}$

Легко заметить, что во всех соединениях осуществляется единый принцип строения: катионные октаэдры $[M(OCN_2H_4)_6]^{3+}$ являются «стержнем» анионного «колодца». Разброс расстояний катион-анион в структурах достаточно велик (от 6,9Å до 8,5Å), что, по-видимому, связано с наличием двух геометрически различных октаэдрических анионов, например, $[Co(DH)_2(NO_2)_2]^-$ и $[Co(NH_3)_2(NO_2)_4]^-$.

Заметим, что на шесть однозарядных Анионов в соответствии с правилом электронейтральности ячейки приходятся два катиона $[Cr(OCN_2H_4)_6]^{3+}$ (с расстоянием между их центрами 7Å). Межкоординационные полиэдры (МКП) в структурах имеют

аналогичное строение. Гексагональные (псевдогексагональные) колодцы «разбивают» пространство ячейки без пустот, а следовательно, выделенные МКП являются упаковочными.

В структурах из общего списка соответствующие катион-анионные расстояния составляют величины от 6,63Å до 7,39Å. Усредненные геометрические параметры псевдогексагонального колодца, вычисленные по всем структурам, приведены на рисунке 4.

Таким образом, и в случае трехвалентного катиона наблюдается общее строение, которое можно охарактеризовать псевдогексагональным колодцем, состоящим из отдельных «звеньев». Локальная ось 3 (третьего порядка) в октаэдрическом катионе $[M(OCN_2H_4)_6]^+$ во всех случаях направлена вдоль катионного стержня.

В общем случае, когда металл не занимает в ячейке специального положения, локальная симметрия катиона является приближенной. Способность мочевины к образованию внутрикомплексных водородных связей повышает устойчивость октаэдрического комплекса.

Как известно, молекула карбамида (мочевины) как в свободном, так и кристаллическом состояниях является плоской. Кристаллизуясь в тетрагональной ячейке (пространственная группа $P42_1m$), карбамидные молекулы связаны друг с другом водородными связями, располагающимися либо в одной плоскости с атомами O, C и N, либо перпендикулярно к ним (рис. 5). Уже в первой же изученной нами структуре комплексного соединения декакарбамид нитрата Co^{2+} молекулы-лиганды расположились попарно таким образом, что их средние плоскости (вместе с внутрикомплексной водородной связью) оказались под углом, достаточно близким к 90°, угол между плоскостями O(1)C(1)N(12)H(1) и O(3)C(3)N(32) составляет 78°. Это же относится и к некоторым другим парам плоскостей, связанным водородной связью N(i)–H(i)...O(j).

В каждом конкретном случае величины углов зависят от наличия внешнесферных водородных связей. Сама молекула мочевины остается во всех случаях плоской (в пределах 3 % для отклонений атомов C, O, N(1), N(2) от средней плоскости). Тем не менее геометрия карбамида искажается: валентный угол N C-O для атомов азота, участвующих в образовании внутрикомплексной водородной связи, составляет в среднем от 108° (по различным молекулам представленных

соединений) до 122(1)°, а для атомов азота, участвующих только во внешних Н-связях, этот угол равен 138(1)°.

Наконец, последний экспериментальный факт, который является естественным следствием обнаруженных пределов изменений геометрических параметров катиона $[M(OCN_2H_4)_6]^{2+3+}$, можно выразить следующим образом: каждая (одна) карбамидная молекула всегда образует только одну внутрикомплексную водородную связь N(i)–H(i)…O(j). Среднее значение длины этой связи, вычисленное для всех структур, составляет величину 2,947(3)Å с максимальными, но редко встречающимися отклонениями этой величины от +0,354Å и до -0,142Å.

Тот факт, что молекула мочевины является донором только одной внутрикомплексной Н-связи, не означает, что несколько молекул не в состоянии быть акцептором для молекул кислорода в структурах с карбамидом. Действительно, уже в тетрагональной мочевине (см. рисунок 5, в), по данным рентгеновского дифракционного анализа (рисунок 5, а, б), количество таких Н-связей (N_i…H_i–O_j) от четырех молекул карбамида, сходящихся на одном атоме кислорода, равно четырем (рисунок 5, в).

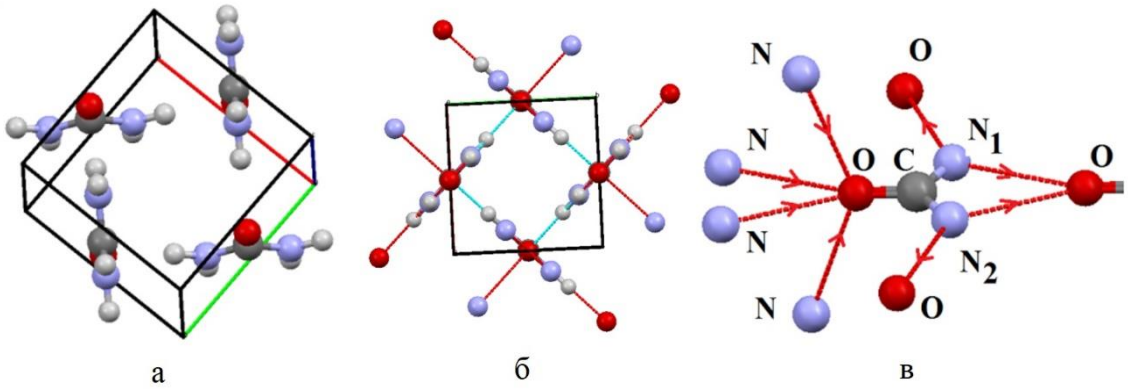


Рис. 5. Молекула мочевины: а – элементарная ячейка тетрагональной мочевины; б – структура связей в кристалле тетрагональной мочевины (urea) OCN_2H_4; в – водородные связи между молекулами, сходящиеся на атоме кислорода

1.3. Циклические процессы

Детальное описание структур с карбамидом (мочевиной) в наших исследованиях было вызвано тем, что это вещество является одной из важнейших молекул, участвующих в нормальной жизнедеятельности организма человека и животных. В клетках живого организма мочевина выполняет важнейшую функцию и образует «собственный цикл» (см. рисунок 6) наряду с важнейшим циклом трикарбоновых кислот. За исследование циклов в клетках организма биохимик Х. Кребс (совместно с Ф. Липпманом) был удостоен Нобелевской премии (за 1953 год).

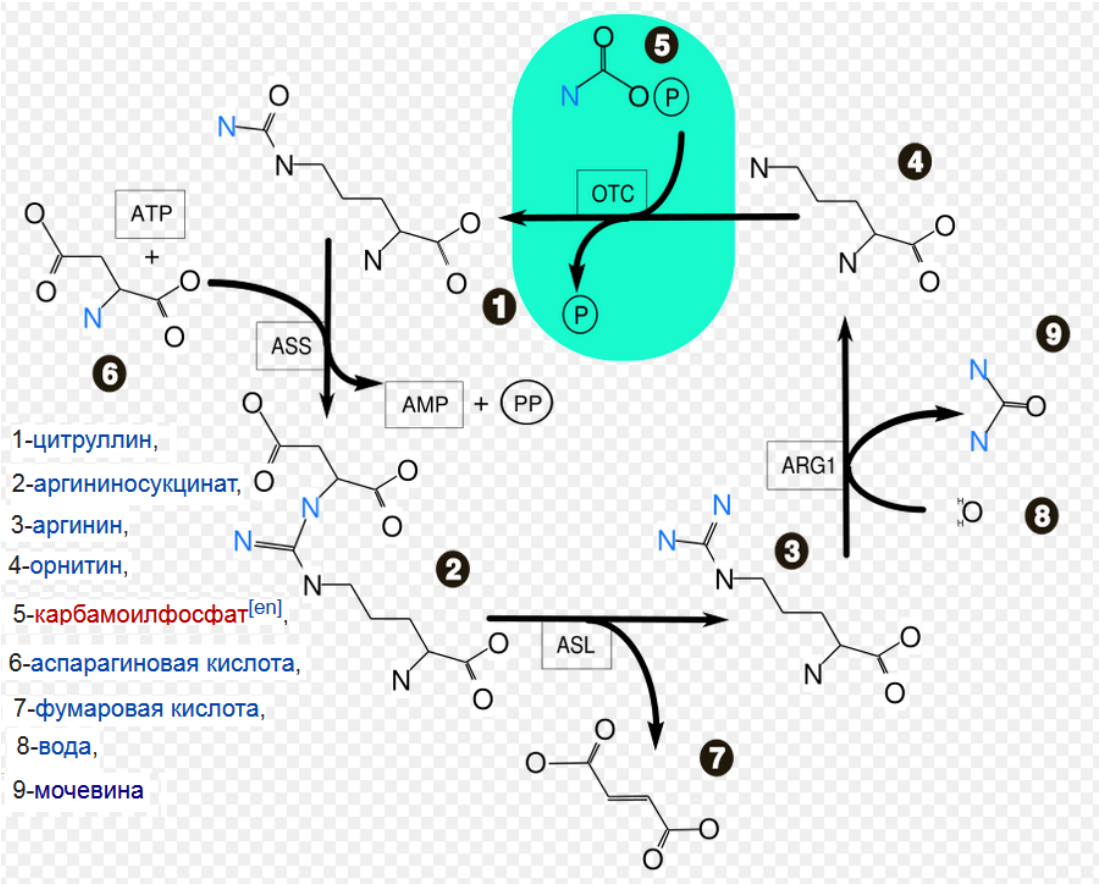


Рис. 6. Цикл мочевины (цикл Кребса-Гензелейта): 1 – цитруллин, 2 – аргининосукцинат, 3 – аргинин, 4 – орнитин, 5 – карбамоилфосфат, 6 – аспарагиновая кислота, 7 – фумаровая кислота, 8 – вода, 9 – мочевина

На стадии представления циклов возникают чисто математические проблемы, связанные с перечислением (комбинаторикой) так называемых ожерелий.

Самые элементарные ожерелья в виде циклических распределений точек на окружности являются в простейшем виде двухцветными (черно-белыми), а более сложная их конструкция может быть многоцветной. Область применения циклов (не рассматривая их в живом организме) огромна: от производственных конвейеров до электрических схем и систем управления. Достаточно привести простейший пример со школьными задачами, в которых изображена электрическая схема (рисунок 7). Схема обычно разбивается на замкнутые или разомкнутые цепи с различными нагрузками и источниками тока. Нарушение работы хотя бы в одной точке схемы ведет к не всегда предсказуемым последствиям.

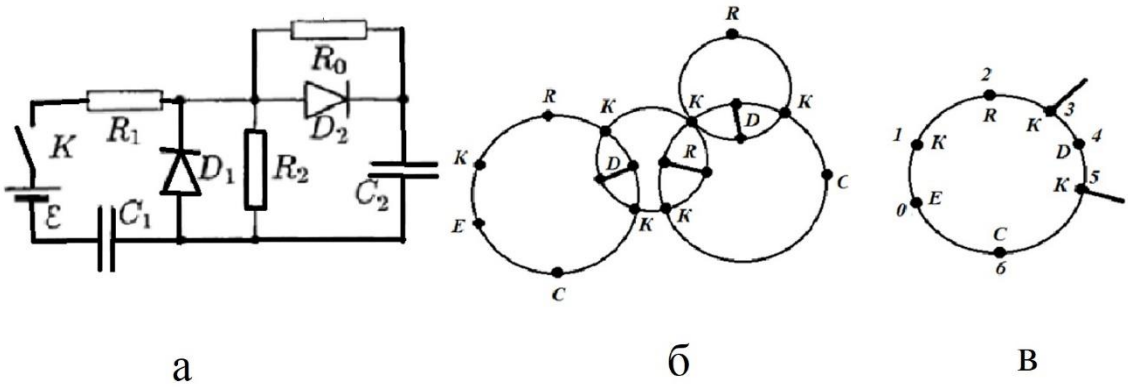


Рис. 7. Электрическая схема: а – электрическая схема; б – представление схемы в «циклах»; в – пример левого цикла, с наибольшим разнообразием нагрузок

Обозначения в замкнутых контурах схемы стандартные: E (ε) – источник энергии; K – контакт (разомкнутый контакт является ключом); C – конденсатор; R – сопротивление; D – детектор (выпрямитель). Все точки оцифрованы для расчетов симметрии.

Как мы увидим ниже, каждый цикл имеет свою симметрию и, в принципе, при любом нарушении работы в схеме мы говорим о нарушении ее симметрии. К сожалению, даже задачи перечисления структур цветных ожерелий математически не решены, и не только в общем, но и частном случае, например, для трехцветного варианта. Для двухцветных циклических наборов точек авторам в свое время удалось получить некоторые результаты в виде формулы расчета их количества. Число независимых двухцветных циклических разбиений, как инвариантных, так и неинвариантных по отношению к инверсии, но перечисленных по одному разу, оказывается равным количеству P^k_v,

где v – общее количество цветных и нецветных точек, возможных в цикле, а k – количество позиций, занятых точками с одним цветом. Эта формула приведена ниже.

$$P_v^k = \frac{1}{2}(N_v^k + M_v^k),$$

где $N_v^k = \frac{1}{k}\sum_{d/n} C_{\frac{v}{d}-1}^{\frac{k}{d}-1} \sum_{d'/d} \frac{d}{d'}\mu(d')$, а $M_v^k = C_{[2v-1+(-1)^k/4]}^{[k/2]}$, при этом $\sum_{d'/d} \frac{\mu(d')}{d'} = \varphi(d)$.

За $\varphi(d)$обозначена функция Эйлера, определяющая количество чисел взаимно простых с d. Символ $\sum_{d/n}$—суммирование по всем делителям числа n, а n – наибольший делитель чисел k и v. Сложность формул расчета (даже для количества двухцветных циклов) показывает также сложность задачи перечисления цветных «ожерелий». Поэтому в научном плане конкретные цветные структуры колец, до нашего времени, почти не рассмотрены. Формулы перечисления двухцветных колец приведены только для общего ознакомления с проблемой, и нами далее применяться не будут.

Можно тем не менее предложить способ перебора многоцветных разбиений с определенной симметрией на основе групп подстановок и использованием компьютерной программы расчета. Точки, принадлежащие одному и тому же подциклу в преобразовании симметрии, при расчете таблицы умножения Кэли (таблица 2) считаются идентичными и окрашиваются при «визуализации» в одинаковый цвет. Поэтому ожерелье (рис. 8), имеющее 8 возможных окрасок точек в операции g[0], из-за преобразований симметрии переходит в двухцветные (g[1], g[3]) или четырехцветное (g[2]) состояния.

Таблица 2

Группа подстановок «цветного ожерелья». Варианты подциклов

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	(0)(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)
g[1]=(5 4 7 6 0 1 2 3);	g[1]	g[2]	g[3]	g[0]	(0514)(2736)
g[2]=(1 0 3 2 5 4 7 6);	g[2]	g[3]	g[0]	g[1]	(01)(23)(45)(67)
g[3]=(4 5 6 7 1 0 3 2);	g[3]	g[0]	g[1]	g[2]	(0415)(2637)

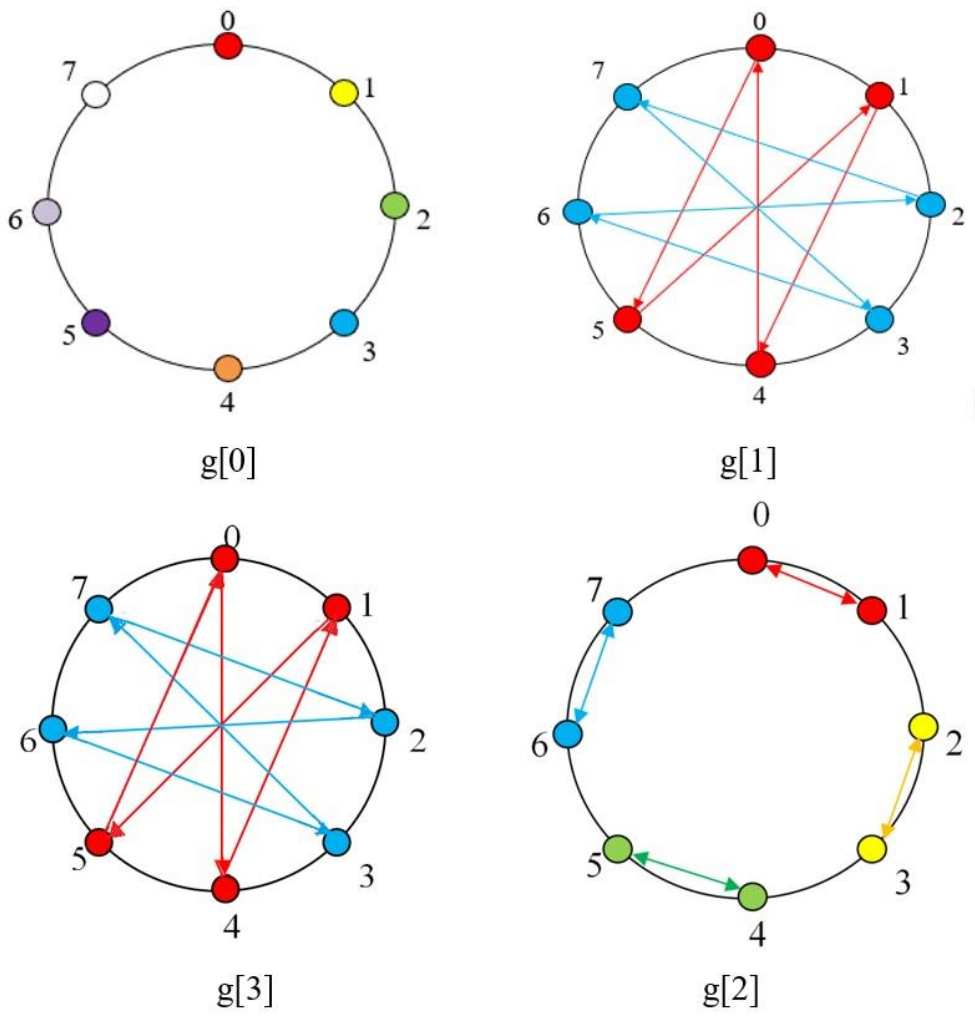


Рис. 8. Элементы группы подстановок кольца (4 цветных «ожерелья»)

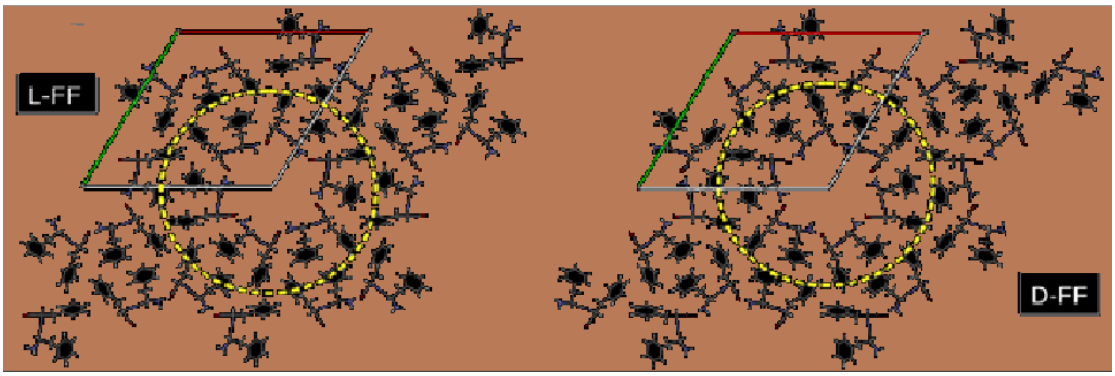
Приведем пример исследования реальных структур и свойств дифенилаланиновых пептидных нанотрубок различными методами молекулярного моделирования в сравнении с экспериментом. Проводилось сравнение двух моделей структур (левая (L) и правая (D) формы) и соответствующих структур, извлеченных из экспериментальных кристаллографических баз данных (рисунок 9).

Установлено топологическое различие: модельные пептидные нанотрубки были оптимизированы в структуры, состоящие из колец, в то время как природный самоорганизующийся пептид нанотрубки состоял из спиральных катушек.

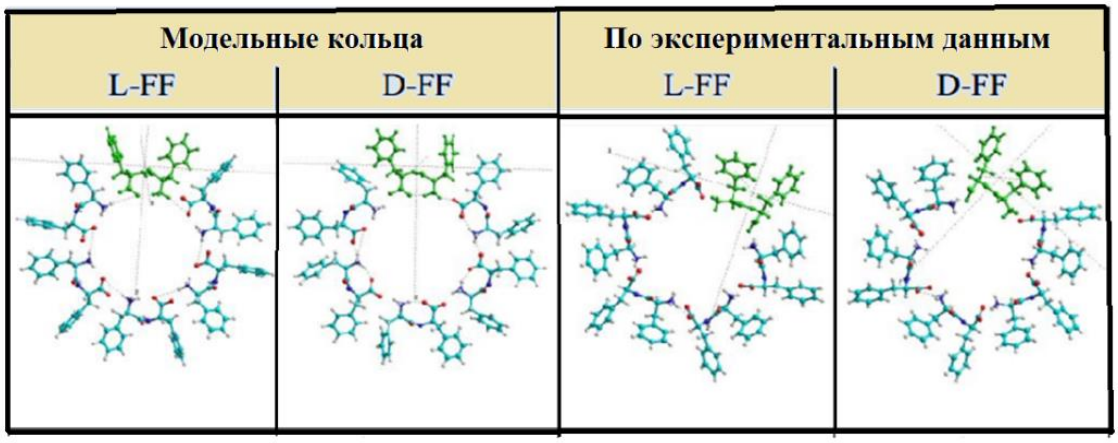
Они образовали спиральные структуры, в которых знак хиральности (разворота молекул) изменяется по мере того, как повышается уровень иерархии, то есть их усложнения. Интересно отметить, что в работе обсуждается топологический переход между

кольцом и спиральной катушкой структур пептидных нанотрубок: самоорганизующиеся природные спиральные структуры более стабильны и выгодны, они имеют более низкую энергию связи в оптимальной конфигурации по сравнению с моделями.

Изомеры реальных пептидов с пространственными группами симметрии $P6_1$ (левая форма) и $P6_5$ (правая форма) в элементарной ячейке (Z-проекция), а также выделенные в ячейках кристаллов фрагменты колец представлены ниже на рисунке 9.



а



б

Рис. 9. Элементы колец пептидных нанотрубок:
а – в эксперименте; б – в моделях

Для описания особенностей строения колец пептидных нанотрубок используем рассмотренный выше способ перебора многоцветных разбиений с определенной симметрией на основе групп подстановок, приведённый в таблице 3.

Таблица 3

Циклическая точечная группа симметрии 12-го порядка для кольца

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[10]	g[11]
g[1]=(1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 0);	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[10]	g[11]	g[0]
g[2]=(2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 0 1);	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[10]	g[11]	g[0]	g[1]
g[3]=(3 4 5 6 7 8 9 10 11 0 1 2);	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[10]	g[11]	g[0]	g[1]	g[2]
g[4]=(4 5 6 7 8 9 10 11 0 1 2 3);	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[10]	g[11]	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]
g[5]=(5 6 7 8 9 10 11 0 1 2 3 4);	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[10]	g[11]	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]
g[6]=(6 7 8 9 10 11 0 1 2 3 4 5);	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[10]	g[11]	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]
g[7]=(7 8 9 10 11 0 1 2 3 4 5 6);	g[7]	g[8]	g[9]	g[10]	g[11]	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]
g[8]=(8 9 10 11 0 1 2 3 4 5 6 7);	g[8]	g[9]	g[10]	g[11]	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]
g[9]=(9 10 11 0 1 2 3 4 5 6 7 8);	g[9]	g[10]	g[11]	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]
g[10]=(10 11 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9);	g[10]	g[11]	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]
g[11]=(11 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10);	g[11]	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[10]

Выделим из группы симметрии колец один вариант преобразований, дающий двухцветный результат. Этот случай будет соответствовать двум ориентациям молекул, развернутых относительно друг друга. В принципе, выбирая в кольце только шесть точек, расположенных в цикле с симметрией шестого порядка, мы уже могли бы добиться соответствия кристаллографической симметрии, обнаруженной в дифракционном эксперименте. Это пространственные группы симметрии $P6_1$ для «левой» формы молекул и $P6_5$ для «правой» (рисунок 9). Однако в этом случае в каждой из структур исчезает эффект «разворота» молекул относительно друг друга. Поэтому следует избрать структуру кольца из 12 молекул так, как это показано на рисунке 10.

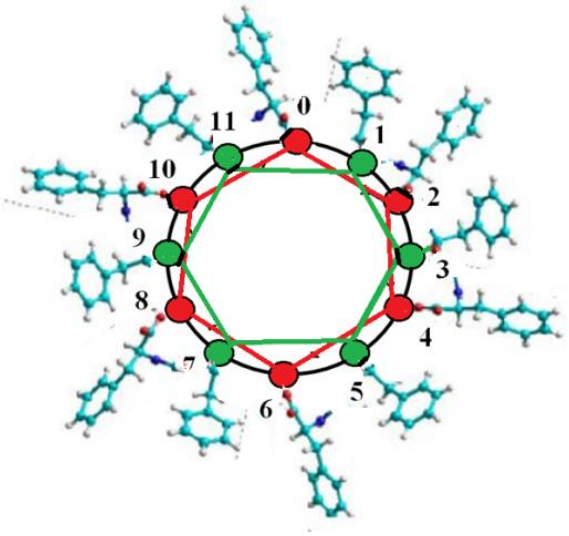


Рис. 10. Кольцо из 12 молекул

Легко показать, что двухцветный вариант может быть построен на основе преобразования g[2]=(2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 0 1) из группы симметрии 12-го порядка (таблица 3), что показано на рис. 10.

В обоих случаях замечен эффект хиральности (разворота пар молекул) по результатам самосборки дифенилаланиновых пептидных нанотрубок.

Возвращаясь к структурам с карбамидом, отмечаем, что геометрические особенности октаэдрического комплексного катиона $[Mg(OCN_2H_4)_6]^{2+,3+}$ (рис. 10) в них таковы, что на одном атоме кислорода может сходиться не более трех водородных связей. В реальном случае удалось обнаружить только две Н-связи, сходящихся к одному атому кислорода, в двух различных структурах: $[M(OCN_2H_4)_6]^{2+,3+}$ $(C10_4)^-$ и WOKNIT (рисунок 11, б). Каждый раз «новое» распределение водородных связей в комплексном октаэдре $[Mg(OCN_2H_4)_6]$ «нарушает симметрию» октаэдра. Для нас оказалось важно, что сравнение двух комплексов URCONT и WOKNIT (со структурными формулами,

представленными на рисунке 3) привело впервые к обнаружению в одном из них (а именно в WOKNIT) группы нарушенной симметрии.

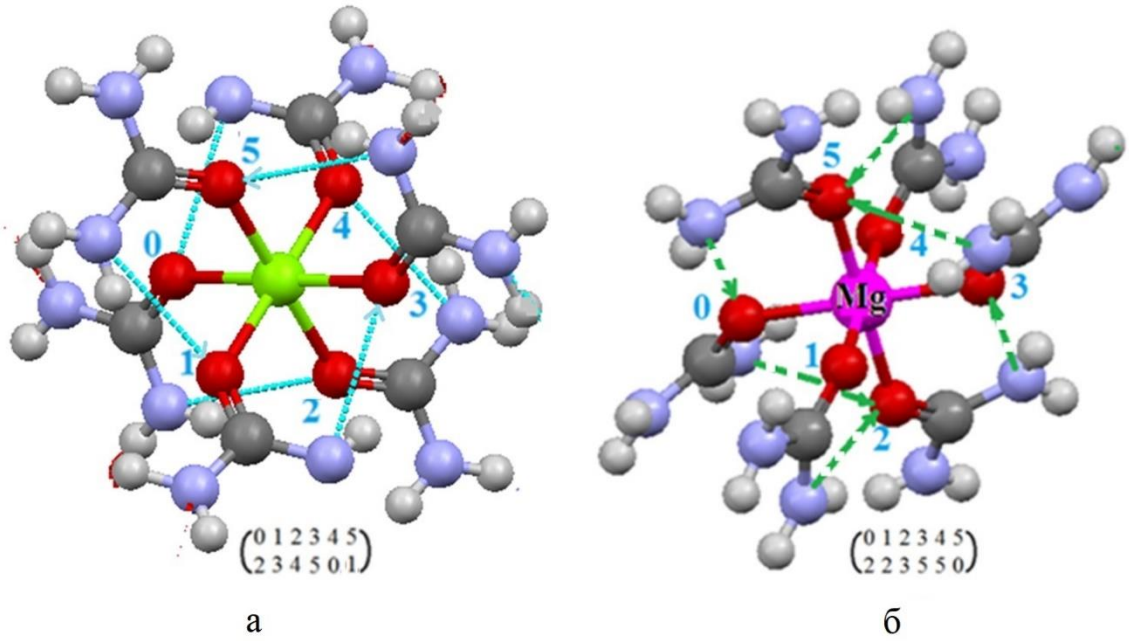


Рис. 11. Структуры комплексного катиона $Me^{3+}(urea)_6$:
а – без двойных водородных (N_i–O_j) связей (URCONT); б – с двойной водородной (N_i – O_j) связью (WOKNIT). Указаны реферативные коды поиска структур в Кембриджском банке данных

На стадии описания симметрии структуры, нарушенной внутрикомплексными «двойными» водородными связями (рисунок 11, б), возникает также, необходимость соответствующего «нарушения» и в правилах записи, то есть «кодирования» матриц подстановок. В данном конкретном случае (по рисунку 11, б) матрица Н-связей в катионе записывается следующим образом: $\begin{pmatrix} 012345 \\ 223550 \end{pmatrix}$, или «по нижней строке»: (223550), то есть в виде явно «неклассической» записи подстановки.

1.4. Принципы сохранения и нарушения симметрии

Пусть теперь в рассмотренной ранее группе симметрии структуры пятиугольника с центральной точкой (по рисунку 2), в матрице расчета группы (таблица 1) появилась, как в структуре комплексного катиона с водородными связями, «случайная ошибка кода», или простой «дефект» в записи операции симметрии g[1]. Например, вместо перестановки чисел в g[1] = (0 2 3 4 5 1) из таблицы 1, записано: g[1] = (0 2 3 4 <u>3</u> 1) (то есть возникла подстановка с «дефектом»). Затем, в качестве другого элемента группы подстановок

с дефектом выберем по правилу умножения матриц операцию $g[2] = (g[1])^2 = (0\ 3\ 4\ 3\ 4\ 2)$. Производя далее операции умножения всех возникающих при таком подходе матриц, получим конечную таблицу подмножества произведений бинарных операций с «дефектом» (таблица 4).

Таблица 4

Таблица 9 × 9 подмножества произведений операций с «дефектом»

g[0]=(0 1 2 3 4 5);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]
g[1]=(0 2 3 4 3 1);	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[3]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]
g[2]=(0 3 4 3 4 2);	g[2]	g[3]	g[4]	g[3]	g[4]	g[2]	g[3]	g[4]	g[3]
g[3]=(0 4 3 4 3 3);	g[3]	g[4]	g[3]	g[4]	g[3]	g[3]	g[4]	g[3]	g[4]
g[4]=(0 3 4 3 4 4);	g[4]	g[3]	g[4]	g[3]	g[4]	g[4]	g[3]	g[4]	g[3]
g[5]=(0 1 2 3 4 3);	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[7]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]
g[6]=(0 2 3 4 3 4);	g[6]	g[7]	g[8]	g[7]	g[8]	g[6]	g[7]	g[8]	g[7]
g[7]=(0 3 4 3 4 3);	g[7]	g[8]	g[7]	g[8]	g[7]	g[7]	g[8]	g[7]	g[8]
g[8]=(0 4 3 4 3 4);	g[8]	g[7]	g[8]	g[7]	g[8]	g[8]	g[7]	g[8]	g[7]

Очевидно, что эта таблица не является классической таблицей Кэли, так как в ней отсутствуют обратные элементы, а в строках и столбцах «встречаются» одинаковые числа, поэтому можно утверждать, что *«дефект» в записи элементов группы симметрии объекта привел к описанию нарушения его симметрии.* Тогда, исходя из общего принципа нарушения симметрии, высказанного ранее П. Кюри (см., например, [2]), следует ожидать появления новых свойств в структурах такого множества. Сам «*Принцип П. Кюри»* может быть сформулирован следующим образом: «Если определенные "причины" вызывают соответствующее следствие, то элементы симметрии причин должны проявляться в вызванных ими следствиях. Если в каких-либо явлениях обнаруживается определенная дисимметрия, т.е. недостаточная или нарушенная симметрия, то эта же дисимметрия должна проявляться в причинах, их породивших». «Когда различные внешние воздействия или воздействия и явления накладываются друг на друга, образуя единую систему, их дисимметрии складываются». «Это она, "диссимметрия" творит явление» (Шубников, Копцик).

«Дефект» в записи информации о структуре является простейшим способом описания эффекта «нарушения симметрии». Но в реальных системах мы часто наблюдаем последствия нарушения симметрии системы в виде возникающего процесса (по П. Кюри). На рисунке 12 в качестве примера показан простейший процесс «рождения» волны в чашке с водой, если на ее поверхность «упала» капля (в точке А – вид сверху) и нарушила однородную симметрию поверхности воды.

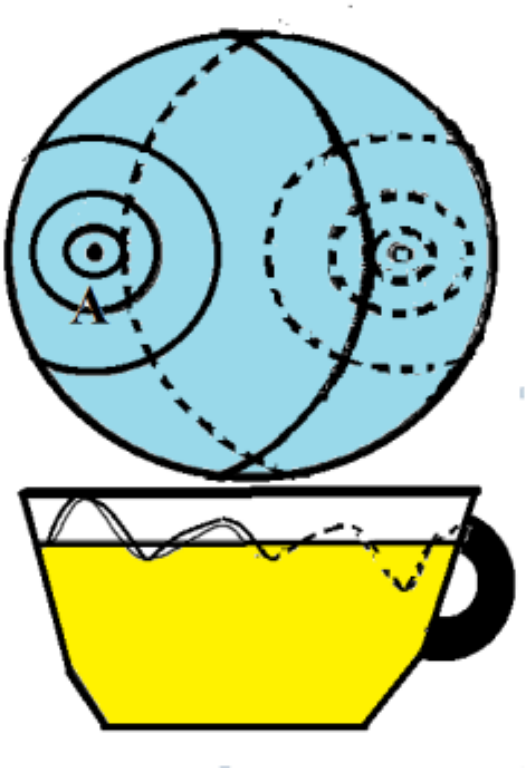


Рис. 12. Нарушение симметрии при образовании волн на поверхности воды

Возвращаясь к анализу таблицы операций с «дефектом», будем считать, что каждому преобразованию из элементов множества преобразований симметрии или нарушенной симметрии можно поставить в соответствие некоторую структуру. Описание преобразований в этой структуре следует вести в терминах *произвольной «подстановки»*, но не обязательно «перестановки» чисел. Например, используя операции таблицы 4, для элемента преобразований g[1] = (0 2 3 4 3 1) имеем числа, записанные в матрице как «отношения преобразований точек» («переходы по связям»). Конкретно, 0→0 (0 перешел в 0), 1→2 (1 перешла в 2) и далее 2→3, 3→4, 4→3, 5→1.

Представленные выше реальные молекулярные структуры комплексных соединений с карбамидом могут получить двумерную или одномерную геометрическую «визуализацию» абстрактных структур их преобразований в группах с ненарушенной симметрией и с нарушенной симметрией (таблица 4). Переходы в преобразованиях будем изображать либо векторами, либо дуговыми стрелками. Результат «визуализации» структуры *с нарушенной симметрией* показан на рисунке 13 для трех произвольно выбранных операций g[0], g[1] и g[8] из таблицы 4.

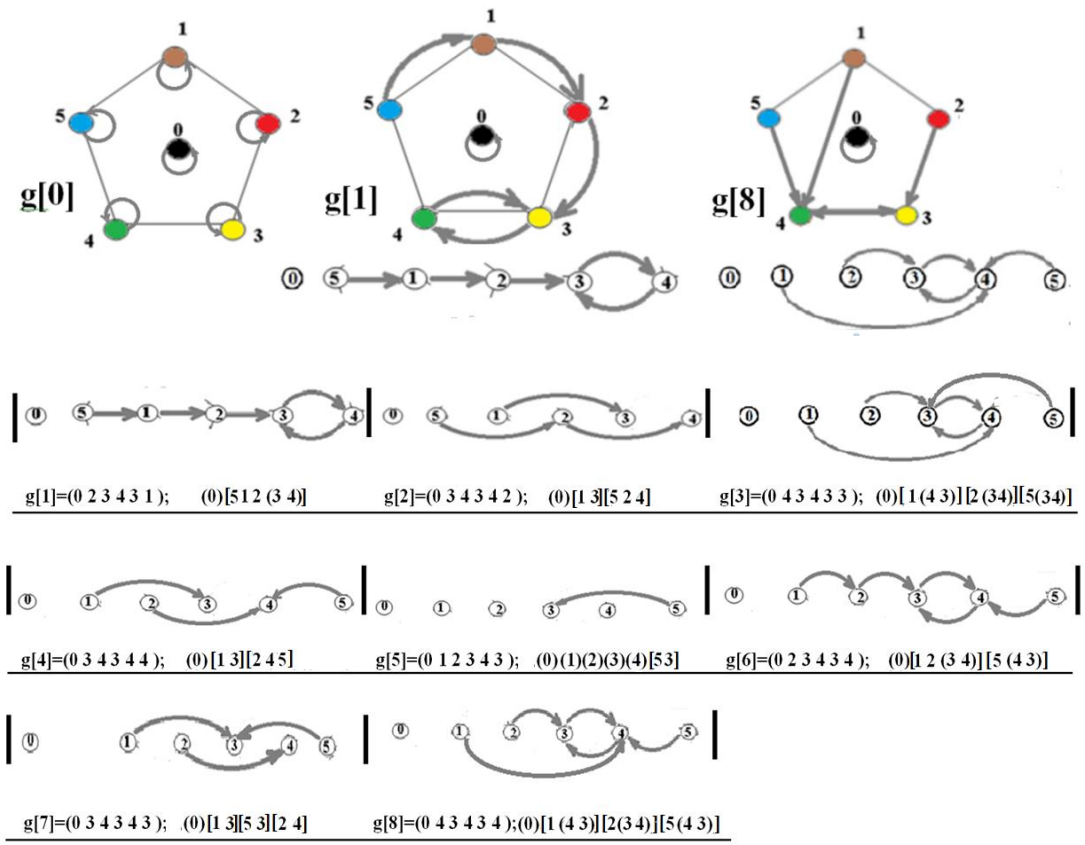


Рис. 13. Визуализация (в двумерном и одномерном пространствах) элементов группы множества преобразований (по таблице 5)

В одном из проведенных нами компьютерных экспериментов множество, содержащее 34 числа, составило таблицу из 91 преобразования с «дефектом» (см. приложение). Будем называть далее такую группу (или подгруппу) *группой нарушенной симметрии* (ГНС). Порядком группы ГНС будем считать множество преобразований в группе, а не число точек в анализируемой структуре, как это часто делается. Оказалось, что в полной таблице всех (91 × 91) произведений можно выделить 4 операции (включая g[0]), которые образуют небольшое замкнутое подмножество преобразований (подгруппу ГНС 4-го порядка), ниже приведенное в таблице 5.

Наглядное представление структур всех операций этого подмножества (таблица 5) изображено на рис. 14. Очевидно, что структуры операций (кроме тождественного преобразования g[0]), то есть, g[1], g[2], g[3] (рисунок 10) представляют собой множество точек и векторов, которые, обладают *конвергентными* свойствами (то есть в том случае, когда все пути сходятся к «корню дерева» орграфа в точке под номером 16). Замена направлений векторов орграфа на противоположные векторы приводит к новому орграфу с *дивергентными* свойствами. При этом все пути будут «выходить» из точки.

Таблица 5

Таблица конечного подмножества произведений из 4 преобразований

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33);	g[0] g[1] g[2] g[3]
g[1]=(10 14 18 21 25 27 29 21 25 4 31 4 31 6 16 6 16 8 16 8 10 18 10 18 12 16 12 14 14 16 23 16 23 28);	g[1] g[2] g[3] g[3]
g[2]=(31 16 16 18 16 14 16 18 16 25 16 25 16 29 16 29 16 25 16 25 31 16 31 16 31 16 31 16 16 16 18 16 18 14);	g[2] g[3] g[3] g[3]
g[3]=(16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16);	g[3] g[3] g[3] g[3]

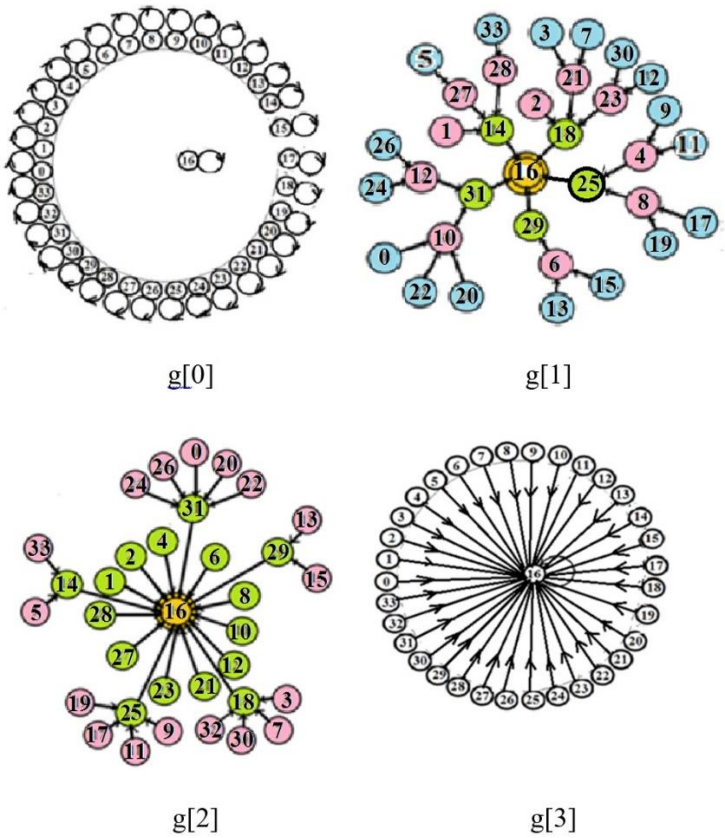


Рис. 14. Визуализация преобразований малого подмножества ГНС объекта из 34 точек (по таблице 5)

Можно также отдельно показать, что для таблицы умножения с *любым* конечным количеством элементов, построенной *по аналогии* с таблицей умножения (по таблицам 5, 6), обязательно существует одно особое преобразование. Его можно записать единственным числом. Например (см. таблицу 6), в структуре орграфа для операции g[7] = (7 7 7 7 7 7 7 7) эта точка, к которой *сходятся* все пути. Эта точка названа нами сокращенно «Рим» («все дороги ведут в Рим») и обозначается символом R (в примере R = 7).

Отдельный интерес представляет собой структура таблицы умножения (таблица 5), если рассмотреть ее отдельно, оставляя только числа, а затем проверить эти строки чисел на их принадлежность к конечной группе нарушенной симметрии так, так, как это представлено ниже (таблица 6).

Таблица 6

Преобразования структуры числовых данных из таблицы 4

g[0]	g[1]	g[2]	g[3]		0	1	2	3		g[0] = g	(0	1 2 3)
g[1]	g[2]	g[3]	g[3]	⇨	1	2	3	3	⇨	g[1] = g	(1	2 3 3)
g[2]	g[3]	g[3]	g[3]		2	3	3	3		g[2] = g	(2	3 3 3)
g[3]	g[3]	g[3]	g[3]		3	3	3	3		g[3] = g	(3	3 3 3)

Таблица 7

Таблица умножения бинарных преобразований с римской точкой R = 7 на множестве из 8 точек

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	
g[1]=(1 2 3 4 5 6 7 7);	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[7]	
g[2]=(2 3 4 5 6 7 7 7);	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[7]	g[7]	
g[3]=(3 4 5 6 7 7 7 7);	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	
g[4]=(4 5 6 7 7 7 7 7);	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	
g[5]=(5 6 7 7 7 7 7 7);	g[5]	g[6]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	
g[6]=(6 7 7 7 7 7 7 7);	g[6]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	
g[7]=(7 7 7 7 7 7 7 7);	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	РИМ

Множество всех элементов такой таблицы, в которой существует «римская» точка, будем называть «римским множеством».

Такая точка существует, как мы уже говорили выше, и во множестве (по таблице 4), представленном на рисунке 11 в преобразовании (g[3] = (16 16 …), то есть когда R = 16).

Переход к орграфу с расходящимися векторами («все дороги *выходят* из Рима», и от конвергенции переходим к дивергенции) формально можно представить «обратными» операциями $g[i]^{-1}$, матрица подстановок в которых записывается в виде «перевернутой» матрицы: верхняя и нижняя строка меняются местами.

Визуализация операций, «обратных» по отношению к преобразованиям, из таблицы 6 представлена на рисунке 15.

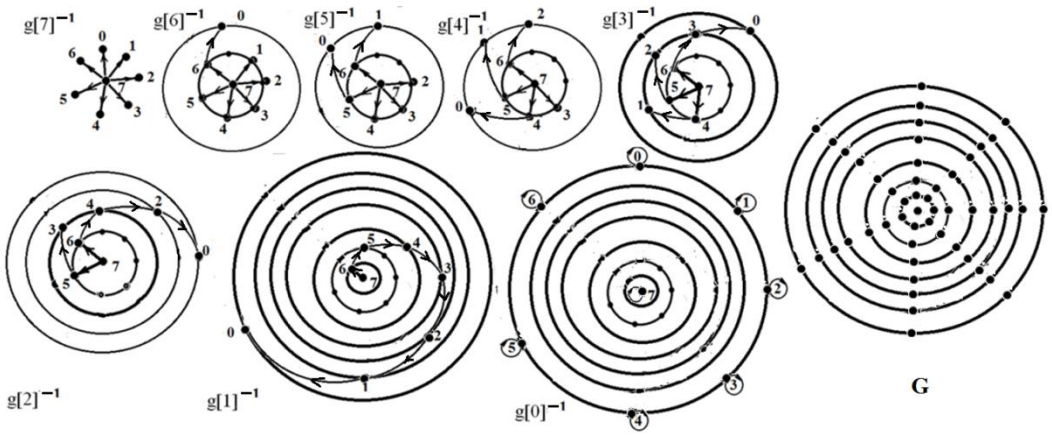


Рис. 15. Визуализация операций $g[0]^{-1}$- $g[7]^{-1}$ с дивергентными свойствами расходимости орграфов в виртуальном пространстве возможных состояний G

Можно заметить, что (в операции $g[1]^{-1}$) (на рис. 13) преобразования точек связаны таким образом, что возникает подобие «эволюционной спирали». Совокупность взаимосвязанных преобразований в группе нарушенной симметрии показывает, как

реагирует любая система на воздействие. Действительно, если на систему, структура которой принадлежит группе симметрии, действуют другие преобразования из этой группы, сохраняющие симметрию, то симметрия не меняется. Но если в качестве воздействия используются преобразования, не принадлежащие симметрии системы, то в результате симметрия системы изменится. В этом случае, как мы видели в эксперименте (рисунок 12), сферическая симметрия «капли» не принадлежит симметрии пленки воды в чашке, возникает «процесс» с нарушением симметрии поверхности и возникает волна. В этом и других подобных случаях «работает» принцип нарушения симметрии П. Кюри.

В то же время реакция системы на воздействие характеризуется другим принципом (Ле Шателье): «воздействие на систему приводит к таким процессам в системе, которые направлены против этого воздействия». Образно говоря, система стремится к сохранению симметрии. Принцип сохранения симметрии применим к равновесию любой природы. Так, например, из школьного курса известно, что при попытках «введения» магнита в катушку с замкнутыми проводниками в катушке возникает индукционный ток, собственное магнитное поле которого направлено против вводимого в катушку магнита. Система препятствует внешнему воздействию. Известно также, что все законы «сохранения» связаны со свойствами пространства (теорема Э. Нёттер).

Таким образом, основными методологическими принципами при анализе систем являются: 1) принцип Ле Шателье (принцип «сохранения» симметрии); 2) принцип П. Кюри (принцип нарушения симметрии). В реальных системах симметрия может сохраняться, но система должна быть при этом замкнутой (отсутствуют «степени свободы» в движении). Следовательно, с другой стороны, необходимым условием образования процессов и явлений становится наличие виртуального (потенциального) *пространства возможностей* или, другими словами, *пространства степеней свободы*. Может возникать реально только то, что «возможно».

Ниже рассмотрим несколько примеров на расчет и визуализацию симметрии и групп нарушенной симметрии, начиная с математических структур.

Пример 1. Конечная группа симметрии. Группа Галуа корней многочлена 4-й степени.

Как известно из «вузовского» курса алгебры, уравнение n-й степени имеет n корней. Изменение вида уравнения с помощью выбора соответствующих преобразований не меняет решений (корней) уравнения, а только производит их «перестановку», принадлежащую симметрии группы Галуа. В частности, многочлен в уравнении $P(x) = x^4 + x^3 + x^2 + x + 1 = 0$ имеет 4 корня. Преобразования вида $y = x^n$ корней уравнения индуцируют конечную группу четвертого порядка с элементами: (1243), (1342), (14)(23) и 1 = (1234), записанными в подциклах. Так, например, запись (1243) означает, что 1→2→4→3→1.

Группа легко «визуализируется» после перехода к записи в подстановках (по нижней строке двустрочной матрицы преобразований) с первого преобразования (1243) = g[1] = (1302), выбранного в качестве начала вычислений и расчета таблицы Кэли, используя программу MATRIX [8]. Расчет по этой программе всегда начинается с числа «0». Результаты расчетов представлены в таблице 8.

Таблица 8

Таблица Кэли конечной группы Галуа для корней уравнения P(*x*) = 0

g[0]=(0123);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	(1234) = 1
g[1]=(1302);	g[1]	g[2]	g[3]	g[0]	(1243)
g[2]=(3210);	g[2]	g[3]	g[0]	g[1]	(14)(23)
g[3]=(2031);	g[3]	g[0]	g[1]	g[2]	(1342)

Правая колонка элементов группы (в подциклах) добавлена для согласования исходной информации (из курсов элементарной алгебры) с таблицей расчета, выполненного по программе MATRIX. На рисунке 16 представлена «визуализация» элементов преобразований из таблицы 1 на плоскости.

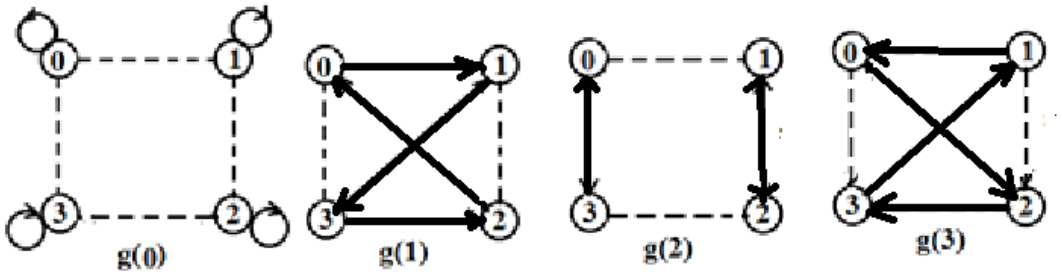


Рис. 16. «Визуализация» структур орграфов конечной группы Галуа (таблица 1) для корней многочлена в уравнении $P(x) = x^4 + x^3 + x^2 + x + 1 = 0$

Анализ таблицы умножения приводит к выводу, что рассчитанная группа симметрии является циклической с образующим элементом g[1] = (1302).

Пример 2. Группы симметрии и нарушенной симметрии арифметики Z_N.

Как известно, любая конечная арифметика Z_N с числами, рассматриваемыми по *mod N*, может принадлежать к множеству с N, имеющим делители, и множеству (по *mod p*) с N, не имеющим делителей, и относящихся к простым числам (N = *p*) [9]. Тогда имеем два варианта, по отношению к симметрии. Рассмотрим их на конкретных примерах.

Вариант (1). Арифметика и группа симметрии Z_7.

Операция g[0] = (0123456) – тождественное преобразование, или «единица» группы, которая в расчетах почти никогда не используется

и в программе MATRIX добавляется на стадии построения результатов расчета любой таблицы умножения, приведена в таблице 9.

Таблица 9

Арифметика Z_7: умножение чисел и группа симметрии

*	0	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	2	3	4	5	6
2	0	2	4	6	1	3	5
3	0	3	6	2	5	1	4
4	0	4	1	5	2	6	3
5	0	5	3	1	6	4	2
6	0	6	5	4	3	2	1

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]
g[1]=(0 2 4 6 1 3 5);	g[1]	g[2]	g[0]	g[4]	g[5]	g[3]	g[6]
g[2]=(0 4 1 5 2 6 3);	g[2]	g[0]	g[1]	g[5]	g[3]	g[4]	g[6]
g[3]=(0 3 6 2 5 1 4);	g[3]	g[4]	g[5]	g[1]	g[2]	g[0]	g[6]
g[4]=(0 6 5 4 3 2 1);	g[4]	g[5]	g[3]	g[2]	g[0]	g[1]	g[6]
g[5]=(0 5 3 1 6 4 2);	g[5]	g[3]	g[4]	g[0]	g[1]	g[2]	g[6]
g[6]=(0 0 0 0 0 0 0);	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]

Визуализация структур преобразований представлена на рисунке 17.

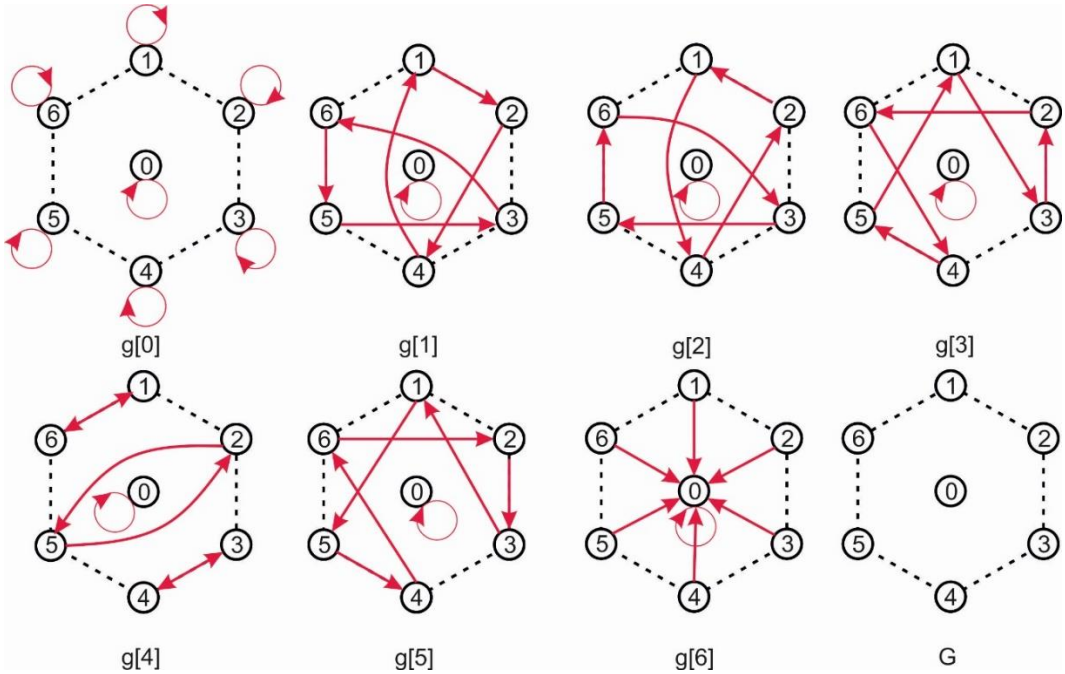


Рис. 17. Орграфы элементов симметрии Z_7 с «единицей» группы g[0] и «нулем» g[6]

Структура G на рисунке 17 демонстрирует выбранное на плоскости пространство «возможностей» группы симметрии арифметики Z_7.

Вариант (2). Арифметика и группа симметрии Z_6.

Таблица 10

АРИФМЕТИКА Z_6

Умножение чисел

*	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	2	3	4	5
2	0	2	4	0	2	4
3	0	3	0	3	0	3
4	0	4	2	0	4	2
5	0	5	4	3	2	1

Группа симметрии

g[0]=(0 1 2 3 4 5);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]
g[1]=(0 2 4 0 2 4);	g[1]	g[2]	g[1]	g[2]	g[5]	g[5]
g[2]=(0 4 2 0 4 2);	g[2]	g[1]	g[2]	g[1]	g[5]	g[5]
g[3]=(0 5 4 3 2 1);	g[3]	g[2]	g[1]	g[0]	g[4]	g[5]
g[4]=(0 3 0 3 0 3);	g[4]	g[5]	g[5]	g[4]	g[4]	g[5]
g[5]=(0 0 0 0 0 0);	g[5]	g[5]	g[5]	g[5]	g[5]	g[5]

Как и в примере (1), проведем анализ таблицы умножения Z_6 чисел (по *mod 6*). Таблица умножения (таблица 10) в этом случае показывает, что все числа в каждой строке и каждом столбце *не являются перестановками*, что позволяет на этот раз сделать вывод о непринадлежности таблицы умножения к «таблице Кэли» групп классической симметрии. Следовательно, мы имеем дело с группой нарушенной симметрии. Природа этого нарушения, очевидно, связана с существованием у числа N 6 делителей. Выбрав в качестве образующего элемента группы бинарных произведений вторую строчку таблицы, то есть операцию g[1] = (024024), рассчитаем группу нарушенной симметрии по программе MATRIX и убедимся в идентичности данных, записанных в левой и правой таблицах (таблица 5).

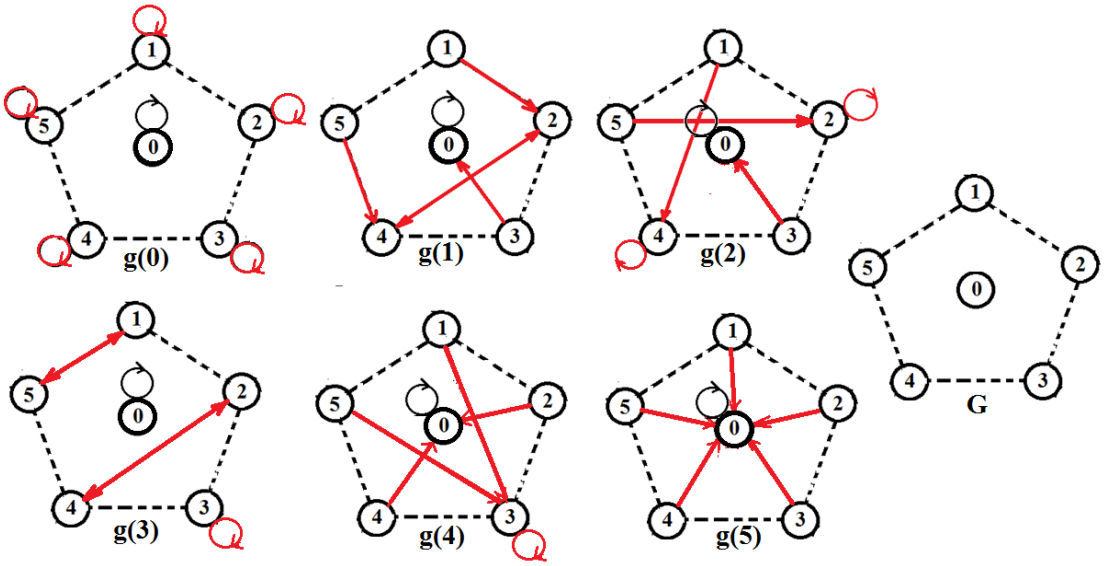
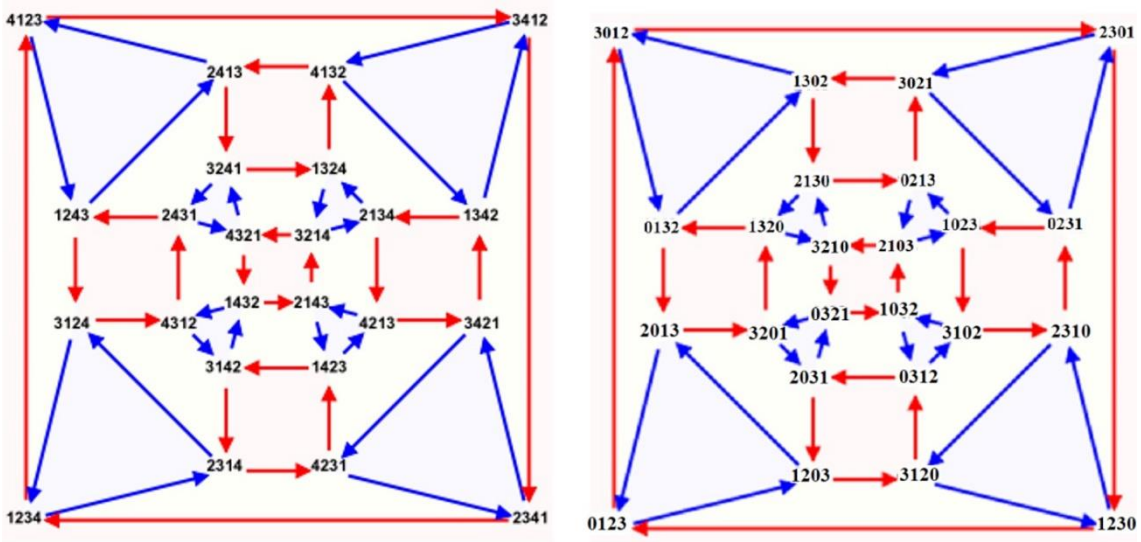


Рис. 18. Структуры орграфов ГНС арифметики Z_6.
В основе «визуализации» преобразований выбрано двумерное пространство «возможностей» G

Визуализация структур преобразований арифметики Z_6 представлена на рисунке 18. Двумерное пространство «возможностей визуализации», как и в первом случае (структура G на рисунке 17), выбрано для удобства анализа отдельных преобразований ГНС и их сравнения. В принципе, можно было использовать и одномерное (линейное) пространство, и коническую поверхность, и др.

Важная часть исследований систем с применением математических моделей относится к проблеме визуализации, которая зависит от выбора «пространства возможностей», что часто оказывается принципиальным. В частности, визуализация перестановок в группе, структура которой устанавливается с помощью соответствующих преобразований перестановок элементов (чисел), была начата еще в работах Кэли. Типичной структурной диаграммой «связей» между элементами множества является хорошо представленный во всех учебниках граф Кэли симметрической группы S_4 (рисунок 19), таблица умножения Кэли которой, рассчитанная в программе MATRIX [3], представлена ниже (таблица 11), а начало расчетов начинается с нуля.



а б

Рис. 19. Граф Кэли симметрической группы S_4

Диаграмма (рис. 19, а) соответствует не электронному варианту перебора всех перестановок в группе. Вариант (рис. 19, б) полностью повторяет структуру графа Кэли, но расчет чисел начинается с нуля, как этого требует расчет по компьютерной программе.

Таблица 11

Таблица преобразований симметрической группы S_4

g[0] = (0123); g[0]g[1]g[2]g[3]g[4]g[5]g[6]g[7]g[8]g[9]g[10]g[11] g[12]g[13] g[14] g[15]g[16]g[17]g[18]g[19]g[20]g[21)g[22]g[23]
g[1] = (3012); g[1]g[2] g[3]g[0]g[5]g[6]g[7]g[4] g[9]g[10]g[11]g[8]g[13]g[14]g[15] g[12]g[17]g[18]g[19]g[16]g[21]g[22]g[23]g[20]
g[2] = (2301); g[2]g[3]g[0]g[1]g[6]g[7]g[4]g[5]g[10]g[11]g[8]g[9]g[14] g[15]g[12]g[13]g[18]g[19]g[16]g[17]g[22]g[23]g[20]g[21]
g[3] = (1230); g[3]g[0]g[1]g[2]g[7]g[4]g[5]g[6]g[11]g[8] g[9]g[10]g[15] g[12]g[13]g[14]g[19]g[16]g[17]g[18]g[23]g[20]g[21]g[22]
g[4] = (1203); g[4]g[8]g[12]g[16]g[9]g[3]g[19]g[20]g[13]g[0]g[7]g[23] g[17]g[1]g[11]g[22] g[5]g[2]g[15]g[21]g[10]g[6]g[18]g[14]
g[5] = (3120); g[5]g[9]g[13]g[17]g[10]g[0]g[16]g[21]g[14]g[1]g[4] g[20] g[18]g[2]g[8]g[23]g[6]g[3]g[12]g[22]g[11]g[7]g[19]g[15]
g[6] = (0312); g[6]g[10]g[14]g[18]g[11]g[1]g[17]g[22]g[15]g[2]g[5]g[21]g[19]g[3]g[9]g[20]g[7]g[0]g[13]g[23]g[8]g[4]g[16]g[12]
g[7] = (2031); g[7]g[11]g[15]g[19]g[8]g[2]g[18]g[23]g[12]g[3]g[6]g[22]g[16]g[0]g[10]g[21]g[4]g[1]g[14]g[20]g[9]g[5]g[17]g[13]
g[8] = (0132); g[8]g[12]g[16]g[4]g[3]g[19]g[20]g[9]g[0]g[7]g[23]g[13]g[1]g[11]g[22]g[17]g[2]g[15]g[21]g[5]g[6]g[18]g[14]g[10]
g[9] = (2013); g[9]g[13]g[17]g[5]g[0]g[16]g[21]g[10]g[1]g[4]g[20]g[14]g[2]g[8]g[23]g[18]g[3]g[12]g[22]g[6]g[7]g[19]g[15]g[11]
g[10] = (3201); g[10]g[14]g[18]g[6]g[1]g[17]g[22]g[11]g[2]g[5]g[21]g[15]g[3]g[9]g[20]g[19]g[0]g[13]g[23]g[7]g[4]g[16]g[12]g[8]
g[11] = (1320); g[11]g[15]g[19]g[7]g[2]g[18]g[23]g[8]g[3]g[6]g[22]g[12]g[0]g[10]g[21]g[16]g[1]g[14]g[20]g[4]g[5]g[17]g[13]g[9]
g[12] = (3021); g[12]g[16]g[4]g[8]g[19]g[20]g[9]g[3]g[7]g[23]g[13]g[0]g[11]g[22]g[17]g[1]g[15]g[21]g[5]g[2]g[18]g[14]g[10]g[6]
g[13] = (1302); g[13]g[17]g[5]g[9]g[16]g[21]g[10]g[0]g[4]g[20]g[14]g[1]g[8]g[23]g[18]g[2]g[12]g[22]g[6]g[3]g[19]g[15]g[11]g[7]
g[14] = (2130); g[14]g[18]g[6]g[10]g[17]g[22]g[11]g[1]g[5]g[21]g[15]g[2]g[9]g[20]g[19]g[3]g[13]g[23]g[7]g[0]g[16]g[12]g[8]g[4]
g[15] = (0213); g[15]g[19]g[7]g[11]g[18]g[23]g[8]g[2]g[6]g[22]g[12]g[3]g[10]g[21]g[16]g[0]g[14]g[20]g[4]g[1]g[17]g[13]g[9]g[5]
g[16] = (2310); g[16]g[4]g[8]g[12]g[20]g[9]g[3]g[19]g[23]g[13]g[0]g[7]g[22]g[17]g[1]g[11]g[21]g[5]g[2]g[15]g[14]g[10]g[6]g[18]
g[17] = (0231); g[17]g[5]g[9]g[13]g[21]g[10]g[0]g[16]g[20]g[14]g[1]g[4]g[23]g[18]g[2]g[8]g[22]g[6]g[3]g[12]g[15]g[11]g[7]g[19]
g[18] = (1023); g[18]g[6]g[10]g[14]g[22]g[11]g[1]g[17]g[21]g[15]g[2]g[5]g[20]g[19]g[3]g[9]g[23]g[7]g[0]g[13]g[12]g[8]g[4]g[16]
g[19] = (3102); g[19]g[7]g[11]g[15]g[23]g[8]g[2]g[18]g[22]g[12]g[3]g[6]g[21]g[16]g[0]g[10]g[20]g[4]g[1]g[14]g[13]g[9]g[5]g[17]
g[20] = (0321); g[20]g[23]g[22]g[21]g[13]g[12]g[15]g[14]g[17]g[16]g[19]g[18]g[5]g[4]g[7]g[6]g[9]g[8]g[11]g[10]g[0]g[3]g[2]g[1]
g[21] = (1032); g[21]g[20]g[23]g[22]g[14]g[13]g[12]g[15]g[18]g[17]g[16]g[19]g[6]g[5 g[4]g[7]g[10]g[9]g[8]g[11]g[1]g[0]g[3]g[2]
g[22] = (2103); g[22]g[21]g[20]g[23]g[15]g[14]g[13]g[12]g[19]g[18]g[17]g[16]g[7]g[6]g[5]g[4]g[11]g[10]g[9]g[8]g[2]g[1]g[0]g[3]
g[23] = (3210); g[23]g[22]g[21]g[20]g[12]g[15]g[14]g[13]g[16]g[19]g[18]g[17]g[4]g[7]g[6]g[5]g[8]g[11]g[10]g[9]g[3]g[2]g[1]g[0]

1.5. Симметрия и ее нарушение в полугруппе

Если не выполняется какая-либо одна из обязательных аксиом существования, перечисленных выше для группы симметрии, то группа симметрии *нарушается* и превращается в какую-либо иную алгебраическую структуру. Например, отказ от обязательности иметь «обратный элемент» (см. свойство «3» принадлежности группе) приводит к образованию структуры множества, которая называется *«полугруппой»*. Приведенный ниже перечень двустрочных матриц является относительно простым примером «полугруппы» на множестве из трех точек.

ПОЛУГРУППА $\$_3$:
g[0] = (0 1 2); g[1] = (0 1 0); g[2] = (1 2 0); g[3] = (1 2 1); g[4] = (1 0 0); g[5] = (1 0 1); g[6] = (2 0 1); g[7] = (2 0 2); g[8] = (2 1 1); g[9] = (2 1 2); g[10] = (0 0 1); g[11] = (0 0 0); g[12] = (0 1 1); g[13] = (0 2 2); g[14] = (0 2 0); g[15] = (1 1 2); g[16] = (1 1 1); g[17] = (1 2 2); g[18] = (1 1 0); g[19] = (2 2 0); g[20] = (2 2 2); g[21] = (2 0 0); g[22] = (2 2 1); g[23] = (0 0 2); g[24] = (1 0 2); g[25] = (0 2 1); g[26] = (2 1 0).

Каждую матрицу следует понимать как двустрочную по аналогии с матрицами в классической группе симметрии, поэтому всякое преобразование можно «визуализировать», используя в качестве геометрической модели множества вершин правильного треугольника на плоской поверхности рисунка, а отношение между точками изображать «стрелкой» или направленной «дугой».

Вообще говоря, возможен выбор другого пространства для отображения матриц: на линии, на поверхности сферы или поверхности цилиндра и т. п. Выбираемое в этом случае пространство можно назвать «пространством состояний», если координаты точек этого пространства характеризуют переменные состояния системы в исследуемой задаче, или «пространством возможностей», если идет процесс. Ниже (рисунок 20) представим визуализацию структур всех 27 преобразований полугруппы на плоскости.

Таблица умножения бинарных преобразований в полугруппе $\$_3$ приведена ниже в таблице 12, а рисунок 20 в соответствии с таблицей «визуализирует» каждое из преобразований на плоскости.

Таблица 12

Таблица умножения бинарных преобразований в полугруппе $\$_3$

g[0]=(0 1 2); g[0] g[1] g[2] g[3] g[4] g[5] g[6] g[7] g[8] g[9] g[10] g[11] g[12] g[13] g[14] g[15] g[16] g[17] g[18] g[19] g[20] g[21] g[22] g[23] g[24] g[25] g[26]
g[1]=(0 1 0); g[1] g[1] g[3] g[3] g[5] g[5] g[7] g[7] g[9] g[9] g[11] g[11] g[1] g[14] g[14] g[16] g[16] g[3] g[16] g[20] g[20] g[7] g[20] g[11] g[5] g[14] g[9]
g[2]=(1 2 0); g[2] g[4] g[6] g[8] g[10] g[12] g[0] g[13] g[15] g[17] g[1] g[11] g[18] g[19] g[21] g[3] g[16] g[22] g[5] g[7] g[20] g[23] g[9] g[14] g[25] g[26] g[24]
g[3]=(1 2 1); g[3] g[5] g[7] g[9] g[11] g[1] g[1] g[14] g[16] g[3] g[1] g[11] g[16] g[20] g[7] g[3] g[16] g[20] g[5] g[7] g[20] g[11] g[9] g[14] g[14] g[9] g[5]
g[4]=(1 0 0); g[4] g[4] g[8] g[8] g[12] g[12] g[13] g[13] g[17] g[17] g[11] g[11] g[4] g[21] g[21] g[16] g[16] g[8] g[16] g[20] g[20] g[13] g[20] g[11] g[12] g[21] g[17]
g[5]=(1 0 1); g[5] g[5] g[9] g[9] g[1] g[1] g[14] g[14] g[3] g[3] g[11] g[11] g[5] g[7] g[7] g[16] g[16] g[9] g[16] g[20] g[20] g[14] g[20] g[11] g[1] g[7] g[3]
g[6]=(2 0 1); g[6] g[10] g[0] g[15] g[1] g[18] g[2] g[19] g[3] g[22] g[4] g[11] g[5] g[7] g[23] g[8] g[16] g[9] g[12] g[13] g[20] g[14] g[17] g[21] g[26] g[24] g[25]
g[7]=(2 0 2); g[7] g[11] g[1] g[16] g[1] g[16] g[3] g[20] g[3] g[20] g[5] g[11] g[5] g[7] g[11] g[9] g[16] g[9] g[1] g[14] g[20] g[14] g[3] g[7] g[9] g[5] g[14]
g[8]=(2 1 1); g[8] g[12] g[13] g[17] g[11] g[4] g[4] g[21] g[16] g[8] g[4] g[11] g[16] g[20] g[13] g[8] g[16] g[20] g[12] g[13] g[20] g[11] g[17] g[21] g[21] g[17] g[12]
g[9]=(2 1 2); g[9] g[1] g[14] g[3] g[11] g[5] g[5] g[7] g[16] g[9] g[5] g[11] g[16] g[20] g[14] g[9] g[16] g[20] g[1] g[14] g[20] g[11] g[3] g[7] g[7] g[3] g[1]
g[10]=(0 0 1); g[10] g[10] g[15] g[15] g[18] g[18] g[19]g[19] g[22] g[22] g[11] g[11] g[10] g[23] g[23] g[16] g[16] g[15] g[16] g[20] g[20] g[19] g[20] g[11] g[18] g[23] g[22]
g[11]=(0 0 0); g[11] g[11] g[16] g[16] g[16] g[16] g[20] g[20] g[20] g[20] g[11] g[11]g[11] g[11] g[11] g[16] g[16] g[16] g[16] g[20] g[20] g[20] g[20] g[11] g[16] g[11] g[20]
g[12]=(0 1 1); g[12] g[12] g[17] g[17] g[4] g[4] g[21] g[21] g[8] g[8] g[11] g[11] g[12] g[13] g[13] g[16] g[16] g[17] g[16] g[20] g[20] g[21] g[20] g[11] g[4] g[13] g[8]
g[13]=(0 2 2); g[13] g[11] g[4] g[16] g[4] g[16] g[8] g[20] g[8] g[20] g[12] g[11] g[12] g[13] g[11] g[17] g[16] g[17] g[4] g[21] g[20] g[21] g[8] g[13] g[17] g[12] g[21]
g[14]=(0 2 0); g[14] g[11] g[5] g[16] g[5] g[16] g[9] g[20] g[9] g[20] g[1] g[11] g[1] g[14] g[11] g[3] g[16] g[3] g[5] g[7] g[20] g[7] g[9] g[14] g[3] g[1] g[7]
g[15]=(1 1 2); g[15] g[18] g[19]g[22] g[11] g[10] g[10] g[23] g[16] g[15] g[10] g[11] g[16] g[20] g[19] g[15] g[16]g[20] g[18] g[19] g[20] g[11] g[22] g[23] g[23] g[22] g[18]
g[16]=(1 1 1); g[16] g[16] g[20] g[20] g[11] g[11] g[11] g[11] g[16] g[16] g[11] g[11] g[16] g[20] g[20] g[16] g[16] g[20] g[16] g[20] g[20] g[11] g[20] g[11] g[11] g[20] g[16]
g[17]=(1 2 2); g[17] g[4] g[21] g[8] g[11] g[12] g[12] g[13] g[16] g[17] g[12] g[11] g[16] g[20] g[21] g[17] g[16] g[20] g[4] g[21] g[20] g[11] g[8] g[13] g[13] g[8] g[4]
g[18]=(1 1 0); g[18] g[18] g[22] g[22] g[10] g[10] g[23] g[23] g[15] g[15] g[11]g[11]g[18] g[19] g[19] g[16] g[16] g[22]g[16] g[20] g[20] g[23] g[20] g[11] g[10] g[19] g[15]
g[19]=(2 2 0); g[19] g[11] g[10]g[16] g[10] g[16] g[15] g[20] g[15] g[20] g[18] g[11] g[18] g[19] g[11] g[22] g[16] g[22] g[10] g[23] g[20] g[23] g[15] g[19] g[22] g[18] g[23]
g[20]=(2 2 2); g[20] g[11] g[11]g[16] g[11] g[16] g[16] g[20] g[16] g[20] g[16] g[11] g[16] g[20] g[11] g[20] g[16] g[20] g[11] g[11] g[20] g[11] g[16] g[20] g[20] g[16] g[11]
g[21]=(2 0 0); g[21] g[11] g[12] g[16] g[12] g[16] g[17] g[20] g[17] g[20] g[4] g[11] g[4] g[21] g[11] g[8] g[16] g[8] g[12] g[13] g[20] g[13] g[17] g[21] g[8] g[4] g[13]
g[22]=(2 2 1); g[22] g[10] g[23] g[15] g[11]g[18]g[18]g[19]g[16] g[22]g[18] g[11] g[16] g[20] g[23] g[22] g[16] g[20] g[10] g[23] g[20] g[11] g[15] g[19] g[19] g[15] g[10]
g[23]=(0 0 2); g[23] g[11] g[18] g[16] g[18] g[16]g[22]g[20]g[22] g[20] g[10] g[11] g[10] g[23] g[11] g[15] g[16] g[15] g[18] g[19] g[20] g[19] g[22] g[23] g[15] g[10] g[19]
g[24]=(1 0 2); g[24] g[4] g[26] g[8] g[1] g[12] g[25] g[13] g[3] g[17] g[10] g[11] g[5] g[7] g[21] g[15] g[16] g[9] g[18] g[19] g[20] g[14] g[22] g[23] g[0] g[6] g[2]
g[25]=(0 2 1); g[25] g[10] g[24] g[15] g[4] g[18] g[26] g[19] g[8] g[22] g[1] g[11] g[12] g[13] g[23] g[3] g[16] g[17] g[5] g[7] g[20] g[21] g[9] g[14] g[2] g[0] g[6]
g[26]=(2 1 0); g[26] g[1] g[25] g[3] g[10] g[5] g[24] g[7] g[15] g[9] g[4] g[11] g[18] g[19] g[14] g[8] g[16] g[22] g[12] g[13] g[20] g[23] g[17] g[21] g[6] g[2] g[0]

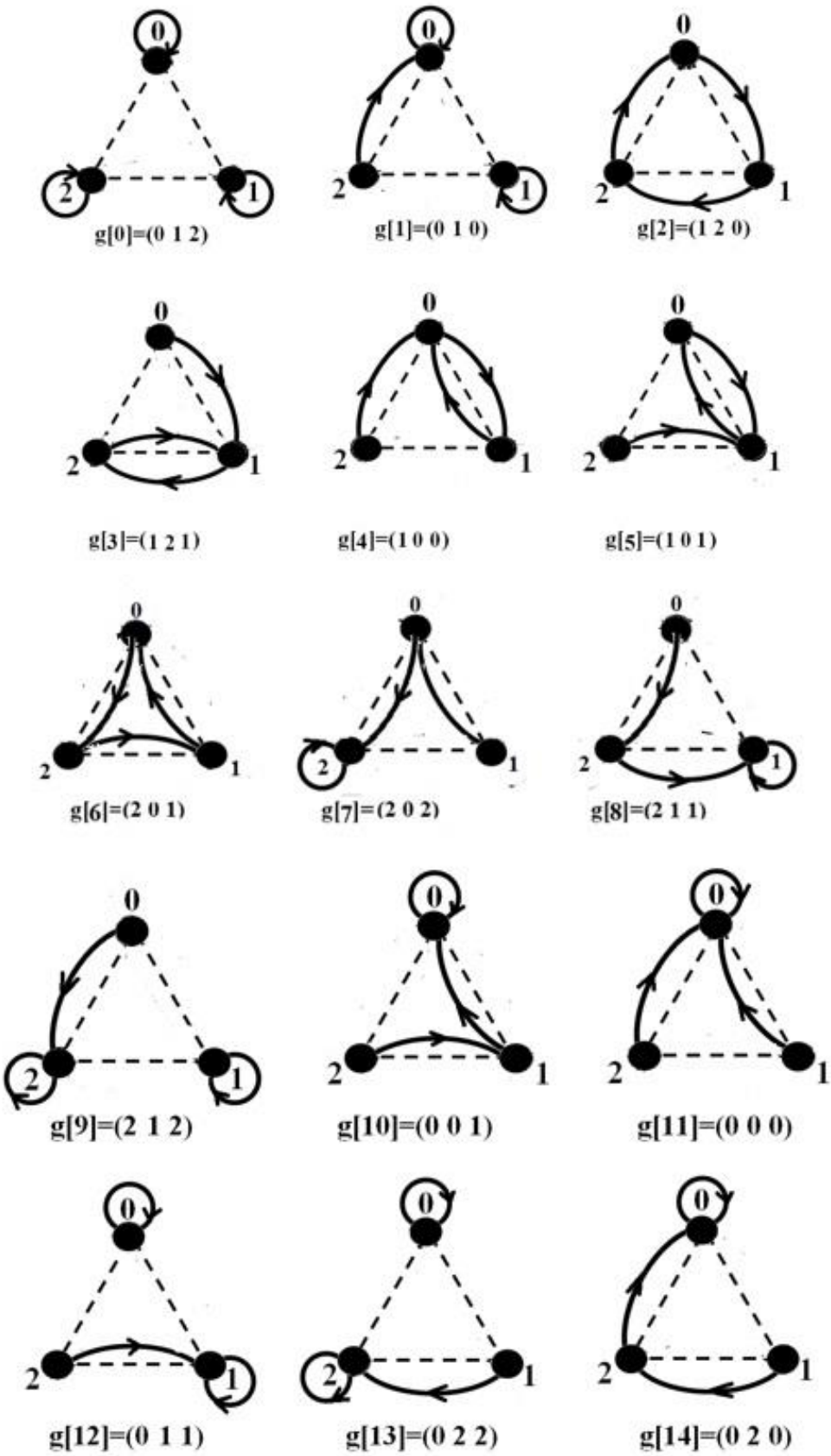


Рис. 20. Визуализация всех структур полугруппы матриц преобразований «треугольника» (продолжение на следующей странице)

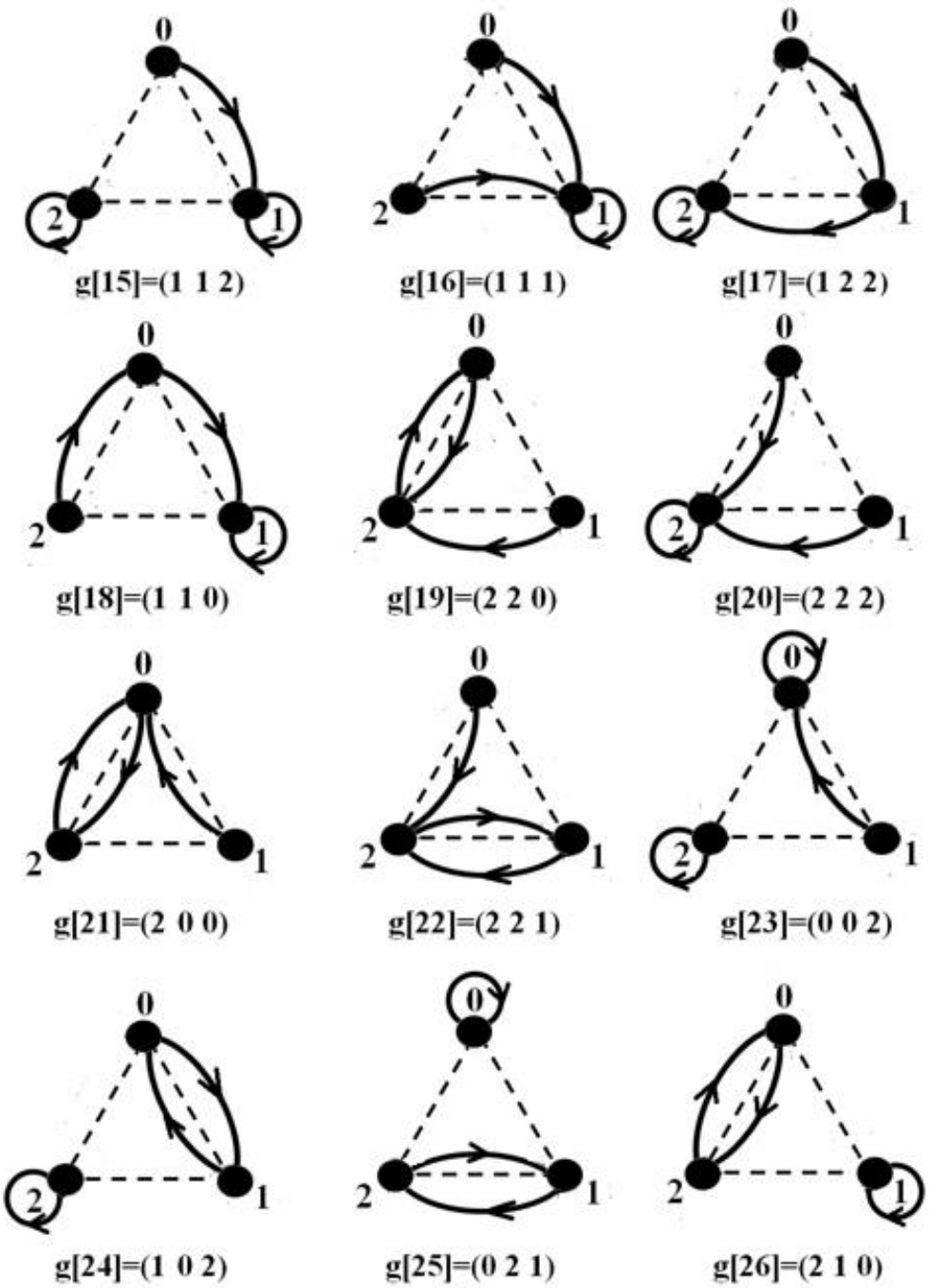


Рис. 20. Визуализация всех структур полугруппы матриц преобразований «треугольника» (окончание)

Среди этого разнообразия структур благодаря «визуализации» удается выделить только те, которые определены группой симметрии правильного треугольника. Преобразования g[0], g[2] и g[6] определяют поворотную симметрию треугольника, а преобразования g[25], g[24] и g[26] характеризуют плоскости зеркальной симметрии, проходящие через вершины треугольника. Расчет группы симметрии

треугольника по программе MATRIX, проведенный отдельно от других расчетов, представлен в таблице 13.

Таблица 13

Таблица Кэли группы симметрии правильного треугольника

g[0]=(0 1 2);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	Поворот (на 360°)
g[1]=(0 2 1);	g[1]	g[0]	g[3]	g[2]	g[5]	g[4]	Плоскость m_1
g[2]=(1 0 2);	g[2]	g[4]	g[0]	g[5]	g[1]	g[3]	Плоскость m_2
g[3]=(1 2 0);	g[3]	g[5]	g[1]	g[4]	g[0]	g[2]	Поворот (на120°)
g[4]=(2 0 1);	g[4]	g[2]	g[5]	g[0]	g[3]	g[1]	Поворот (на 240°)
g[5]=(2 1 0);	g[5]	g[3]	g[4]	g[1]	g[2]	g[0]	Плоскость m_3

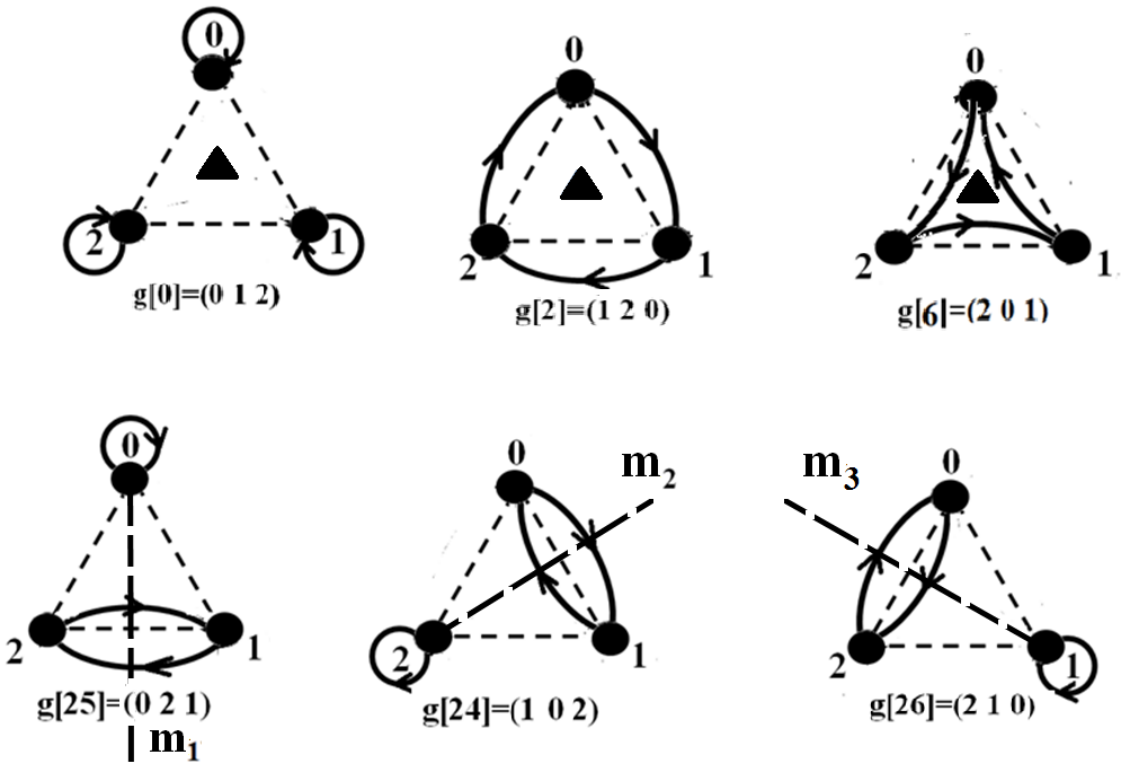


Рис. 21. Визуализация преобразований в группе симметрии правильного треугольника

Преобразования с нарушенной симметрией после визуализации также могут делиться на отдельные подмножества операций g[i], имеющих одинаковую структуру ориентированного графа $ (рисунок 22). В пространстве они могут быть повернуты относительно друг друга или иметь «зеркальное» отражение, в котором направление связи изменилось на противоположное. При визуализации структур этот факт изображается либо выпуклой, либо вогнутой дугой связи между одинаковыми номерами точек орграфа.

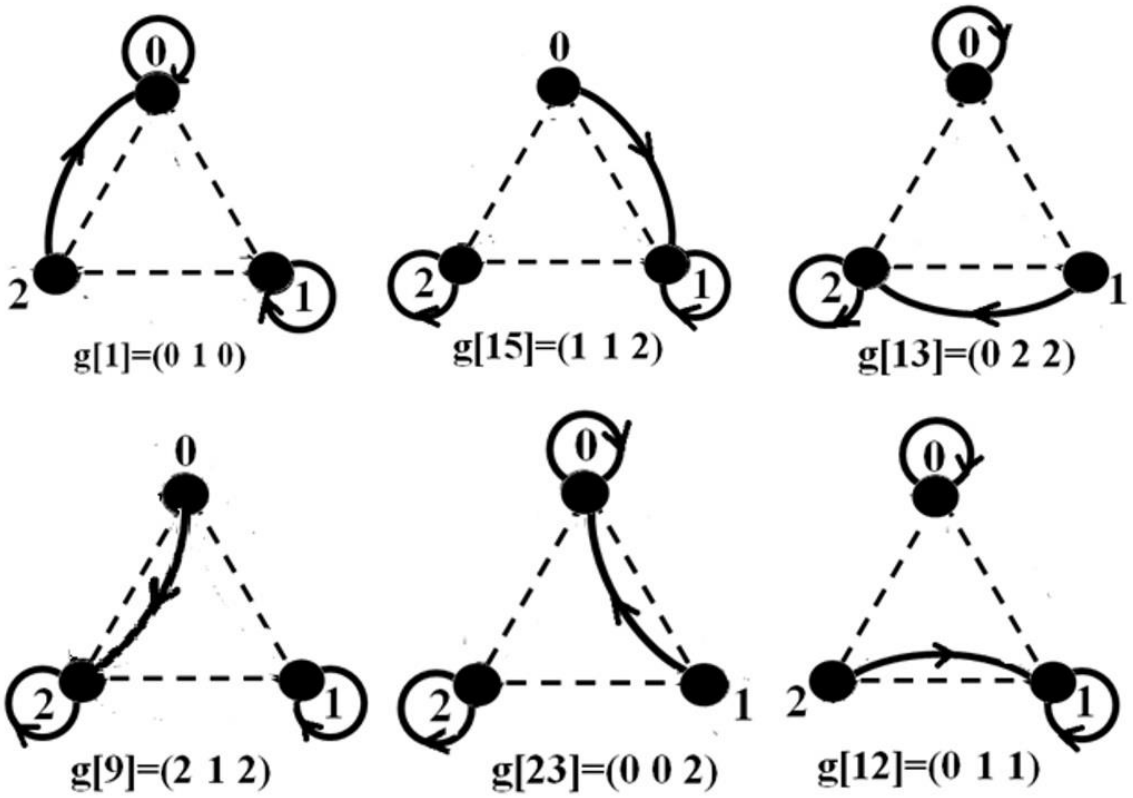


Рис. 22. Набор одинаковых структур ГНС в полугруппе

Следует сразу отметить (по рисункам 21 и 22), что как симметричные структуры, так и структуры с нарушенной симметрией имеют «внутреннее» единство, которое можно назвать *«скрытой» симметрией*. Так, при наложении точек и операций определенных пар ГНС-структур $g[i] (рис. 10) получаем структуру из перечня симметричных, представленных на рис. 9. Так, объединение структур $g[1] Ụ $g[9] Є $g[26] или, упрощая эту запись, имеем: g[1] + g[9] = g[26]. Аналогично g[15] + g[23] = g[24] и g[12] + g[13] = g[25].

Наконец, для сравнения, представим два изображения одинаковых структур: в одномерном линейном (рисунок 23, а) пространстве возможностей и двумерном, на плоскости (рисунок 23, б).

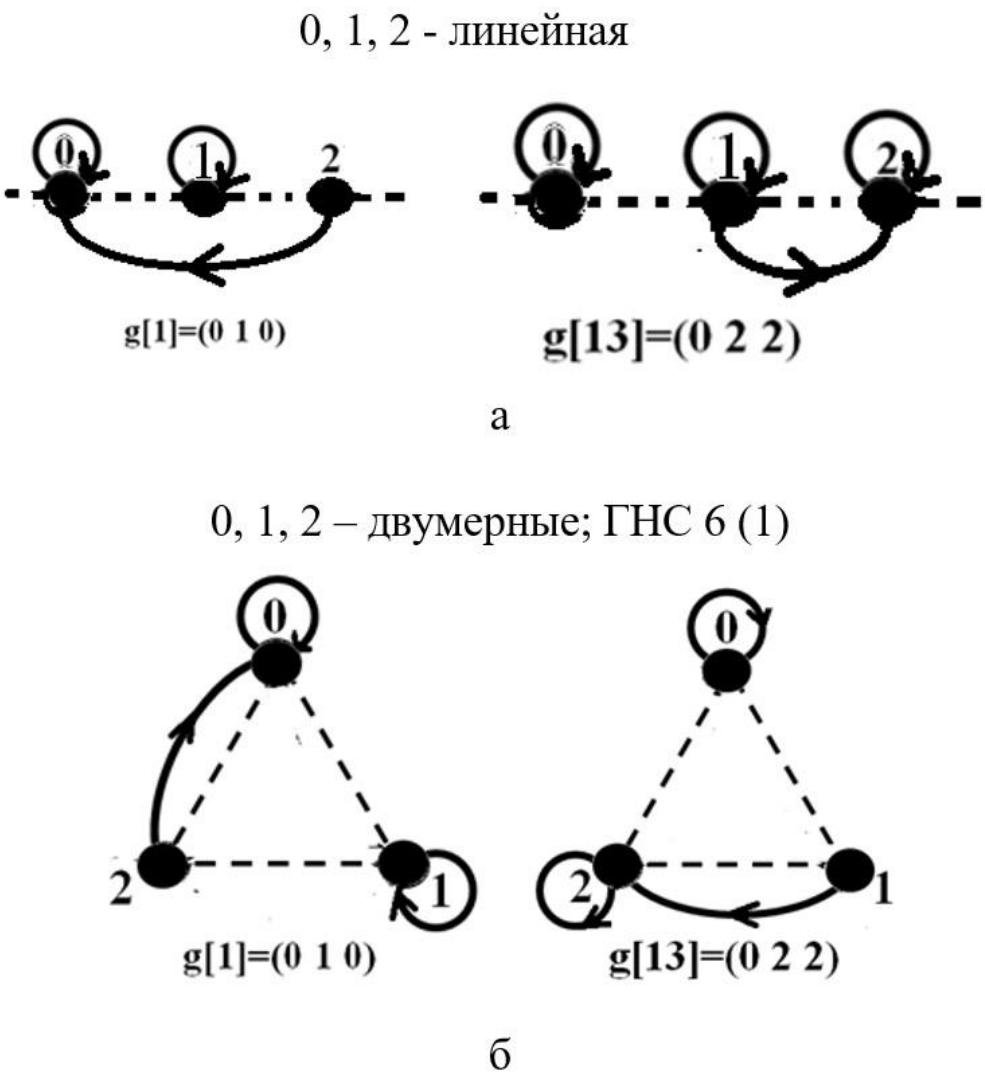


Рис. 23. Две структуры из общего списка (рис. 15) в пространствах возможностей: а – одномерном; б – двумерном

Предпочтительность двумерного варианта изображения треугольника почти очевидна. Поэтому для удобства восприятия информации выбор пространства «возможностей» в каждом эксперименте, в том числе и компьютерном, является достаточно важным.

Конечная симметрическая группа, называемая в большинстве литературы группой перестановок, в применении к ряду задач (например, когда различные подмножества множества перестановок образуются последовательно) может быть визуализирована с помощью так называемого PQ-дерева.

Под PQ-деревом понимают граф с различной «нагрузкой» вершин, в котором выделяют по крайней мере три типа: Q-вершины, имеющие не менее трех потомков; *P*-вершины, имеющие не менее двух потомков; не имеющие специального обозначения, которые соответствуют переставляемым элементам (рисунок 24).

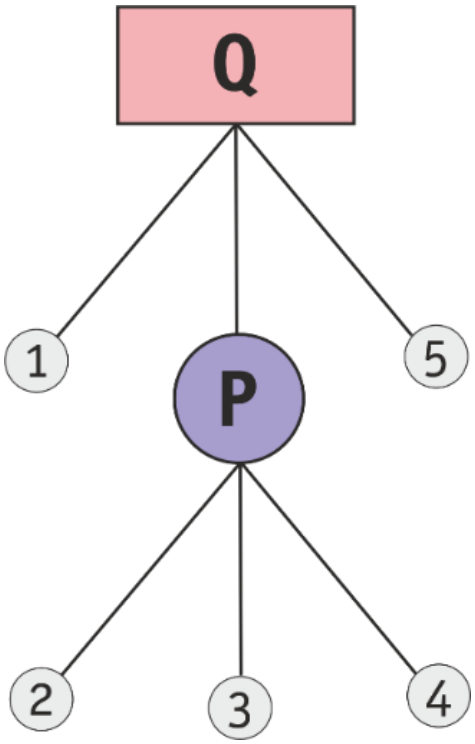
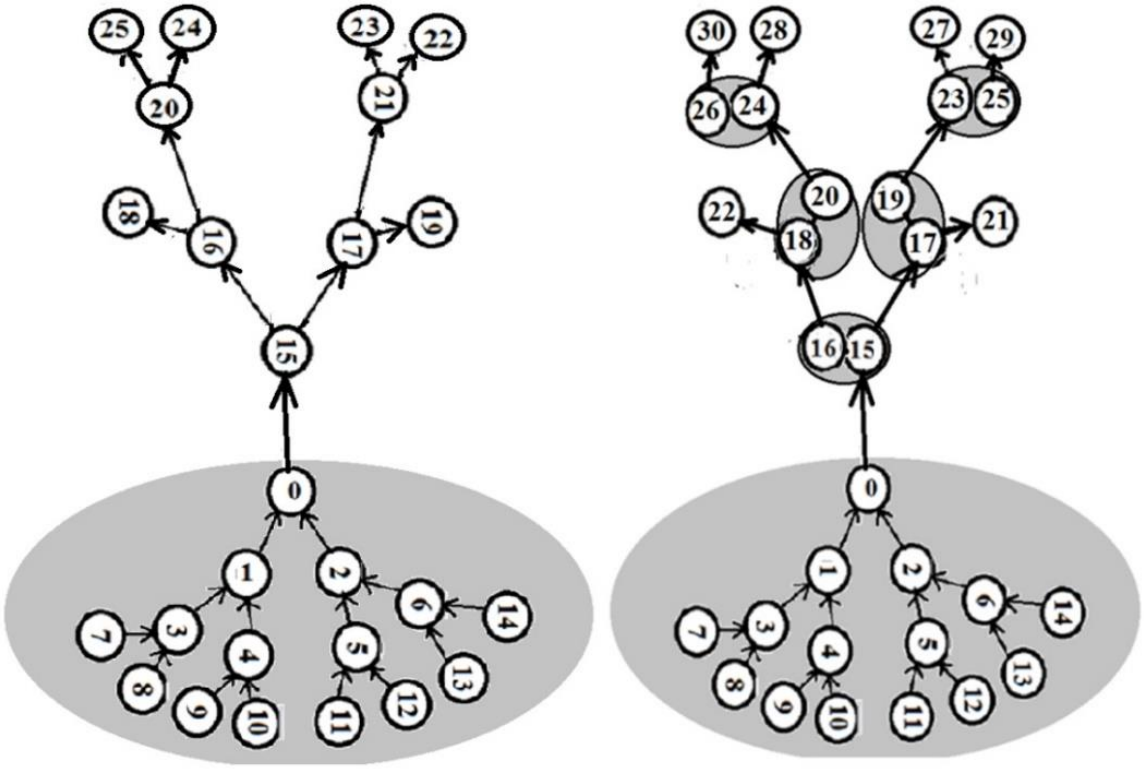


Рис. 24. Пример PQ-дерева, в котором P-вершина включает в себя вершины 2, 3 и 4 (используют обозначение [1(2 3 4)5])

Обычно использование конструкции PQ-дерева является результативным для систем, информация об элементах которых становится известной постепенно (существует причинно-следственная связь между перестановками). В частности, PQ-деревья применяются в алгоритмах тестирования графов на планарность (возможность быть изображенным на плоскости и не иметь пересечений ребер).

Программные возможности MATRIX позволяют находить произведение только таких подстановок, в орграфах которых из каждой вершины выходит не более одного ребра, а входящих ребер в данную

вершину может быть несколько. С точки зрения теории категорий они являются графами монады. Поэтому, чтобы продемонстрировать алгоритм перемножения подстановок с вложением элементов, подобно тому, как это реализуется в PQ-деревьях, выполним «раздвоение» вершин на графе (рисунок 25, а), из которых выходит более одного ребра (рисунок 25, б).



а б

Рис. 25. Дерево с корневищем: а – граф без вложений;
б – граф с вложениями

Преобразования в виде подстановок для графа с вложениями, названного нами по внешнему сходству деревом «с корневищем», представлены в таблице 14А, а таблица умножения самих подстановок приводится в таблице 14Б.

Таблица 14А

Таблица умножения преобразований для дерева с корневищем

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30)
g[1]=(15 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 17 18 21 22 23 24 21 22 27 28 29 30 27 28 29 30)
g[2]=(17 15 15 0 0 0 0 1 1 1 1 2 2 2 2 21 22 21 22 27 28 21 22 27 28 29 30 27 28 29 30)
g[3]=(21 17 17 15 15 15 15 0 0 0 0 0 0 0 0 21 22 21 22 27 28 21 22 27 28 29 30 27 28 29 30)
g[4]=(21 21 21 17 17 17 17 15 15 15 15 15 15 15 15 21 22 21 22 27 28 21 22 27 28 29 30 27 28 29 30)
g[5]=(21 21 21 21 21 21 21 17 17 17 17 17 17 17 17 21 22 21 22 27 28 21 22 27 28 29 30 27 28 29 30)
g[6]=(21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 21 22 27 28 21 22 27 28 29 30 27 28 29 30)

Таблица 14Б

Таблица умножения преобразований для дерева с корневищем

	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]
g[0]	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]
g[1]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[6]
g[2]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[6]	g[6]
g[3]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]
g[4]	g[4]	g[5]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]
g[5]	g[5]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]
g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]

Список использованных источников (глава 1)

1. Rau V. G., Pugaev A. A., Rau T. F., Maleev A. V. Geometrical Aspect of Solving the Problem of Real Structure Growth on the Model of Alkali Metal Halides of the NaCl // Crystallography Reports. – 2009. – Vol. 54. – No. 7. – P. 28-34.
2. WWW-MINKRIST [Электронный ресурс]. URL: http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus/search.php?select=Name (дата обращения: 06.06.2019).
3. Cambridge Structural Database System [Электронный ресурс]. URL: https://www.ccdc.cam.ac.uk/ (дата обращения: 06.06.2019).
4. Rau V. G., Lomtev L. A., Rau T. F. Non-Crystallographic Symmetry in Packing Spaces // Symmetry (USA). – 2013. – Vol. 5. – P. 54-80.
5. Никитин О. Р., Руфицкий М. В., Скворцов К. В, Рау Т. Ф., Осин А. В., Рау В. Г. Мониторинг и моделирование поверхности материалов, используемых в технологии «ALOX». – Серпухов : Известия института инженерной физики, 2013.
6. ООО «РУСАЛОКС» [Электронный ресурс]. URL: http://rusalox.ru/technology-uniqueness.html (дата обращения: 04.06.2019).
7. Рау В. Г., Бондарь В. И., Рау Т. Ф., Степанов С. В. Проблемы кристаллохимии. – М. : Наука, 1990.
8. Рау В. Г., Рау Т. Ф., Ломтев Л. А., Никитин О. Р. Группа нарушенной симметрии в октаэдрическом катионе $[Me(urea)_6]^{2+,3+}$ с внутрикомплексными водородными связями // Структурная химия. – 2018. – Т. 59. – С. 117-123.
9. Рау В. Г., Ломтев Л. А., Рау Т. Ф., Горшков К. А., Никитин О. Р. Компьютерные эксперименты в группах подстановок с нарушенной симметрией // РАЕ Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 3. – С. 43-49.
10. Рау В. Г., Скворцов К. В., Потехин К. А., Малеев А. В. Геометрический анализ моделей молекулярных нанокластеров серы $(S_8)x$ в компьютерном эксперименте // Структурная химия. – 2011. – Т. 52. – № 4. – С. 781-786.
11. Никитин О. Р., Рау В. Г., Скворцов К. В., Ломтев Л. А. Органические полупроводники. Антрацен в компьютерном наноскопе // Известия Института инженерной физики. – 2009. – № 4. – С. 15-20.
12. Солодовников С. Ф. Основные термины и понятия структурной кристаллографии и кристаллохимии (словарь-пособие). – Новосибирск : ИНХ СО РАН, 2005. – 113 с.
13. Рау В. Г., Пугаев А. А., Рау Т. Ф., Малеев А. В. Модели сборки наноразмерных зародышей роста кристаллических структур // Структурная химия. – 2009. – Т. 50. – С. 12-17.

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619399: программный комплекс для исследования координационных окружений в модели послойного роста графов связности / А. В. Малеев, В. Г. Журавлев, А. В. Шутов, В. Г. Рау; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых (RU). – № 2013617161; заявл. 16.08.2013. Дата государственной регистрации: 03.10.2013.
15. Куркутова Е. Н., Рау Т. Ф. Кристаллическая структура $Co(NO_3)_2 \cdot 10CO(NH_2)_2$ // Доклады АН СССР. – 1972. – Т. 204. – С. 342-345.
16. Рау В. Г., Рау Т. Ф., Лебедев Г. О., Куркутова Е. Н. // Кристаллография. – 2000. – Т. 45. – С. 653-657.
17. Рау В. Г., Журавлев В. Г., Рау Т. Ф., Малеев А. В. Морфогенез кристаллических структур в методе дискретного моделирования упаковок // Кристаллография. – 2002. – Т. 47. – № 5. – С. 793-796.
18. Рау В. Г., Пархомов Л. Г., Илюхин В. В., Белов Н. В. К расчету патерсоновских циклотомических наборов // Доклады АН СССР. – 1980. – Т. 255. – № 4. – С. 1110-1113.
19. Журавлев В. Г. Самоподобный рост периодических разбиений и графов // Алгебра и анализ. – 2001. – № 13. – С. 69-92.
20. Koonin E. V. The Logic of Chance. The Nature and Origin of Biological Evolution. – Pearson Education, 2011.
21. Тогунов И. А., Филиппов Р. В., Поляков С. В., Рау В. Г. Прогностическое моделирование эволюционных процессов в вирусной микробиологии / Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии: труды XIII Международной научной конференции с научной молодежной школой имени И. Н. Спиридонова. В 2 книгах. – М. : ООО «Графика», 2018. – С. 35-42.
22. Рау В. Г., Кисляков А. Н., Рау Т. Ф., Герасимов К. А. Математическая модель сборки дендримеров для нанофармакологии / Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии: труды XIII Международной научной конференции с научной молодежной школой имени И. Н. Спиридонова. В 2 книгах. – М. : ООО «Графика», 2018. – С. 247-250.
23. Booth Kellogg S., Lueker George S. Testing for the consecutive ones property // Journal of Computer and System Sciences. – 1976. – Vol. 13. – Iss. 3. – P. 335-379.

Глава 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ГРУПП НАРУШЕННОЙ СИММЕТРИИ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

2.1. Классификация кластерных систем

Кластером называют систему, состоящую из нескольких объектов, объединившихся в относительно устойчивую структуру. Нанокластерами в природе называют образование из нескольких атомов или молекул, объединившихся в устойчивую атомную или молекулярную структуру с размерами, составляющими величину, близкую к нанометру (10^{-9} м). Размеры кластеров в живых организмах начинаются от размеров отельных клеток, видимых в оптический микроскоп (около 10^{-6} м), и вирусов до размеров крупных животных и человека (около 1 м), и затем геометрические размеры кластеров социально-экономических систем не играют существенной роли, а природные образования планетарных, звездных и галактических систем кластерами не называют. Таким образом, кластерная классификация систем может быть представлена тремя основными направлениями, исторически сложившимися в научном представлении: 1) природными нанокластерами; 2) живыми внутриклеточными структурами; 3) социально-экономическими образованиями.

2.2. Модели природных нанокластеров

Обсуждение структуры природных кластеров является самым существенным моментом при определении формы роста структуры в веществе, так как «свободные кластеры являются переходными объектами между изолированными атомами, молекулами и твердым телом» [1]. Описание структуры (моделирование) в любом случае приводит к разбиению пространства на атомы, молекулы, кластеры, пустоты и пр. Главная часть поиска механизма образования кристаллической структуры – это представление содержимого ячейки кристалла в виде упаковки из атомов или молекул, реально существовавших в состоянии газа или жидкости и перешедших в твердую фазу.

Поликристаллический рост кристаллов начинается от «точечного» источника роста, спонтанное, то есть случайное появление

которого «нарушает однородную по концентрации симметрию» расплава вещества и создает «процесс» (рисунок 26).

Рис. 26. Моментальная фотография роста кристаллов гипосульфита в поляризованном свете

Эта часть книги посвящена компьютерному моделированию и изучению систем малых нанокластеров с использованием групп нарушенной симметрии. Источники первичной информации содержатся в научной литературе и исследованиях, проводимых в том числе в различное время авторами монографии. Развитие нанотехнологии в наше время получает дополнительный стимул в связи с новыми открытиями в микроэлектронике, генетике и робототехнике. В этом заключается актуальность работы. Ценность исследований заключается в поисках нового подхода к прогнозированию структур нанокластеров, заключающегося в том, что методы квантовой механики не всегда согласуются с результатами наблюдения нанокластеров и не всегда могут обосновать процесс зарождения и роста монокристаллических структур. Наконец, методы «визуализации» результатов расчета малых кластеров на основе кристаллографических координационных связей позволяют самостоятельно перейти от кластера к материалу в поликристаллическом состоянии, что также является актуальным при проектировании систем в нанотехнологии.

Таким образом, научная ценность представленных ниже структур заключается в обосновании комплексного подхода (со стороны квантовой механики и со стороны кристаллографии) к

изучению и созданию новых материалов методами компьютерного моделирования на наноуровне.

Наиболее полно в научной литературе приведена информация о нанокластерах, рассчитанных «из первых принципов» квантовой механики.

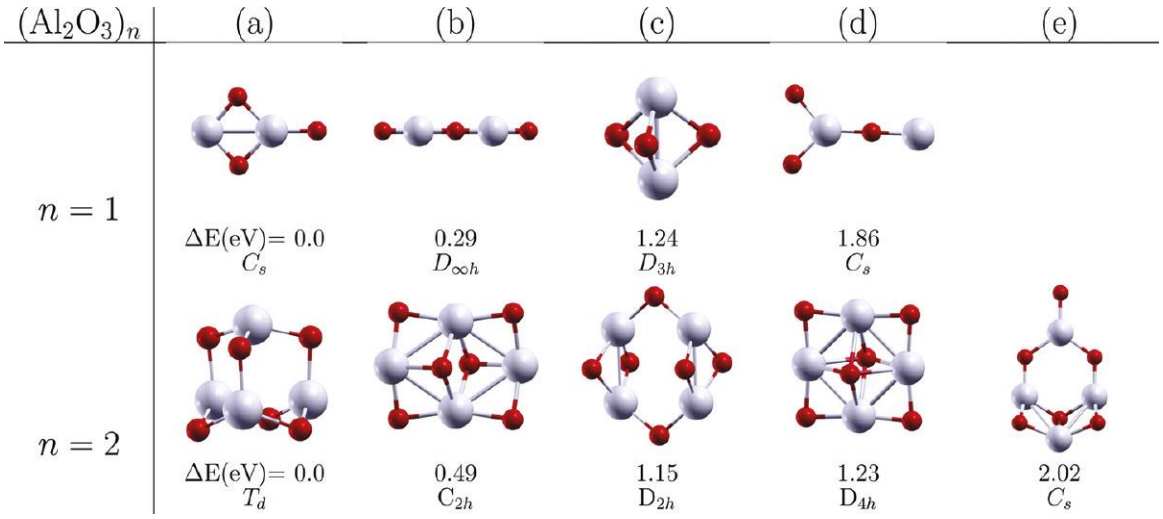


Рис. 27. Корунд (Al_2O_3) – оксид алюминия, имеющий, соответственно одну и две молекулы (n = 1, 2) и возможные модели нанокластера

Числа под моделями обозначают энергию связи атомов. Минимальная величина энергии определяет устойчивость в ряду кластеров. Например, при $n = 1$ кластер (c) имеет симметрию тригональной бипирамиды D3h с энергией связи, равной 1,24 eV, и составляет основу структуры реального кристалла корунда.

Начальная информация определяется существующими отечественными и международными банками структурных данных, такими, например, как WWW-MINKRIST (для минералов) [2], существующий в сети «Интернет», или Кембриджский банк структурных данных «CCDC» (для молекулярных структур, содержащих углерод) [3], распространяемый в основном для членов международного Союза кристаллографов.

Поиск нанокластеров из банков данных, собранных на методах рентгеновской дифракции, выбран из-за того, что все кристаллы прошли через стадию зародыша нанометрового размера. Рост кристаллов, рассмотренный на основе принципа самоподобия, позволяет предполагать, что кластеры присутствуют и на нанометровом уровне, в твердой фазе. Важно правильно рассчитывать

связи между атомами и молекулами в ячейке кристалла, а также какие из них определяют рост структуры зародыша и последующий полиэдр (многогранник) роста. Соответствие экспериментальным данным одного из нескольких возможных вариантов предварительной модели должно быть строго выполнено.

В этой главе будет проведена классификация нанокластеров по размерам на атомарные, молекулярные, комплексные кластеры и кластеры, в том числе и в микробиологии. Для исследованных и проанализированных нанокластеров будет рассматриваться возможность их экспериментального получения, прогнозирования свойств, а также необходимая аппаратура и методы изучения свойств.

Классификация по размерам кластеров, представленных ниже:

1.1. Атомарные кластеры: медь, кадмий, магний, цинк, индий и т. п.

1.2. Неорганические молекулярные кластеры: галлит, алтаит, алюмооксид.

1.3. Комплексные соединения – карбамид.

1.4. Кластеры органических соединений от молекул (антрацен, пентацен, коронен) до ДНК.

Для начала предлагается рассмотреть процесс компьютерного моделирования нанокластеров на основе данных рентгеновского дифракционного анализа (РДА), проведенного по методике послойного роста структур, которая представлена ранее в работе [5].

Исходная информация по данным элементам Периодической таблицы берется из международного банка минералов «WWW-MINCRYST». Она включает в себя координаты атомов в ячейке с симметрией федоровской группы и межатомные (межядерные) расстояния в первой координационной сфере каждого атома и приводится ниже (таблица 15).

Таблица 15

Кристаллоструктурные данные кадмия

CADMIUM 1, g-zinc, Cd		Hexagonal			Z=2	P6(3)/mmc
18.6.1992 Ref. Str.: Wyckoff R.W.G. (1963)						
Lattice parameters (cub.angs.degr)		Co-ordinates for all atomic positions				
a = 2.9789	Alpha = 90.0	N_0	N_0P	x/a	y/b	z/c
b = 2.9789	Beta = 90.0	1	1	0.3333	0.6667	0.25
c = 5.6177	Gamma = 120.0	2	1	0.6667	0.3333	0.75
Selected interatomic distances (cation-anion-anion):						
N_0P	Atom	Rad.sph. (angs.)		C.N.	Distance (angs.)	
1	Cd	3.744		12	6 × 2.9789; 6 × 3.2935	

Если выбирать кластер магния и его кристаллическую структуру, который был расшифрован раньше кадмия, то сравнивать их будем по таблице 16.

Таблица 16

Кристаллоструктурные данные магния

MAGNESIUM 1, Mg		Hexagonal			Z=2	P6(3)/mmc
Ref.Str.: L: Swanson and Tatge (1951), A.V. Chichagov (1997)						
Lattice parameters (cub.angs.degr)		Co-ordinates for all atomic positions				
a = 3.2095	Alpha = 90.0	N_0	N_0P	x/a	y/b	z/c
b = 3.2095	Beta = 90.0	1	1	0.3333	0.6667	0.25
c = 5.2104	Gamma = 120.0	2	1	0.6667	0.3333	0.75
Selected interatomic distances (cation-anion-anion):						
N_0P	Atom	Rad.sph. (angs.)		C.N.	Distance (angs.)	
1	Mg	3.84		12	6 × 3.2095; 6 × 3.1969	

Особо выражена одинаковая структура нанокластеров кадмия, магния и цинка (рисунок 28). Отсюда формируется вывод о том, что расчет многогранников роста этих структур дает только один вариант структуры.

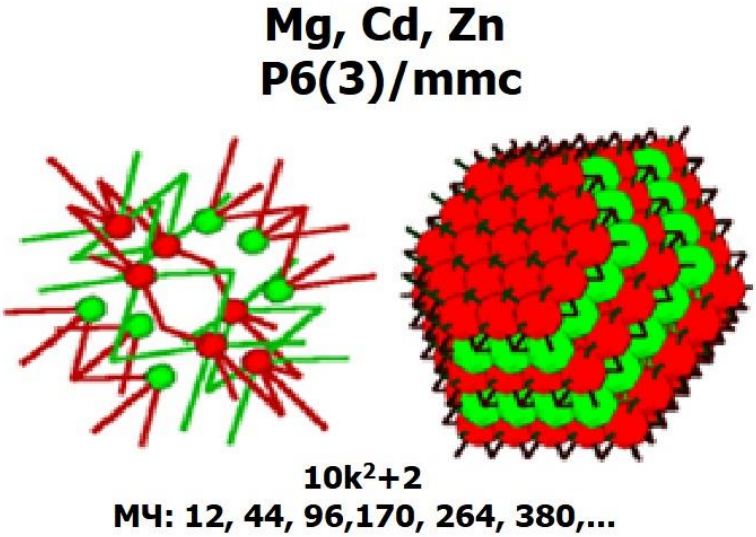
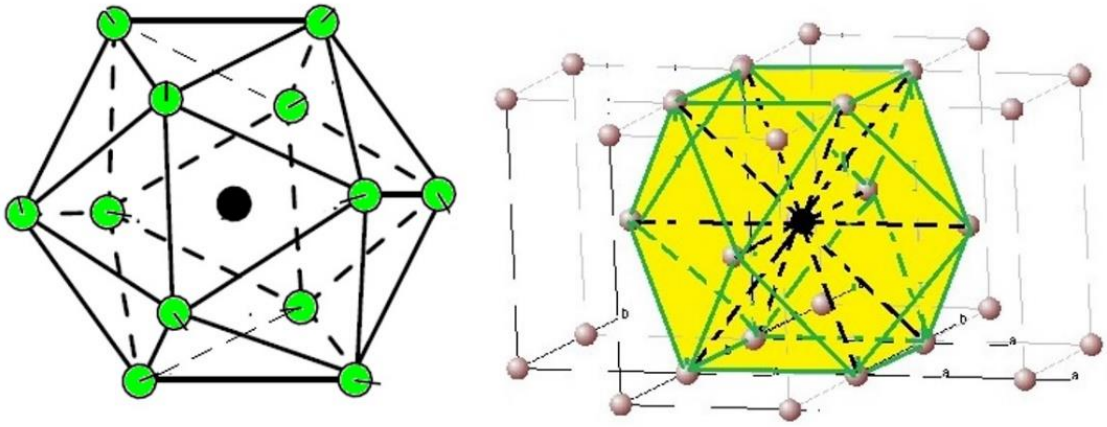


Рис. 28. Нанокластеры кадмия, цинка и магния, обладающие одинаковой последовательностью магических чисел

Стоит отметить, что в соответствии с результатами масс-спектроскопии магния (рисунок 29) количество атомов на k-й «оболочке» поверхности многогранника экспериментального нанокластера удовлетворяет закону последовательности чисел

$10k^2 + 2$, однако при расчете кластера магния, проведенном методом РДА, в каждом последующем слое появляются лишние числа, что возможно, если речь идет о различных модификациях этих структур.



а б

Рис. 29. Масс-спектроскопии магния:
а – атомы, находящиеся на поверхности икосаэдра при k = 1;
б – нанокластер индия (In) при k = 1

При превращении кадмия в индий (таблица 17) существенно меняется симметрия кластера. Проведение соответствующего наноструктурного исследования дает возможность полагать, что индий является нанокластерным топологическим изомером кубического октаэдра (рисунок 29) со стороны координационного подхода и последовательности магических чисел (при k = 1).

Таблица 17

Кристаллоструктурные данные индия

INDIUM 1, In,		Tetragonal			Z=2	P4(2)/nnm
Ref.Str.: Wyckoff R.W.G. (1963)						
Lattice parameters (cub.angs.degr)		Co-ordinates for all atomic positions				
a = 3.244	Alpha = 90.0	N_0	N_0P	x/a	y/b	z/c
b = 3.244	Beta = 90.0	1	1	0.0	0.0	0.0
c = 4.938	Gamma = 90.0	2	1	0.5	0.5	0.5
Selected interatomic distances (cation-anion-anion):						
N_0P	Atom	Rad.sph. (angs.)		C.N.	Distance (angs.)	
1	In	3.984		12	4 × 3,244; 8 × 3,3701	

2.3. Неорганические молекулярные кластеры

2.3.1. Галит

Галит (NaCl) – поваренная соль, имеет пространственную группу Fm3m и форму роста (рисунок 30).

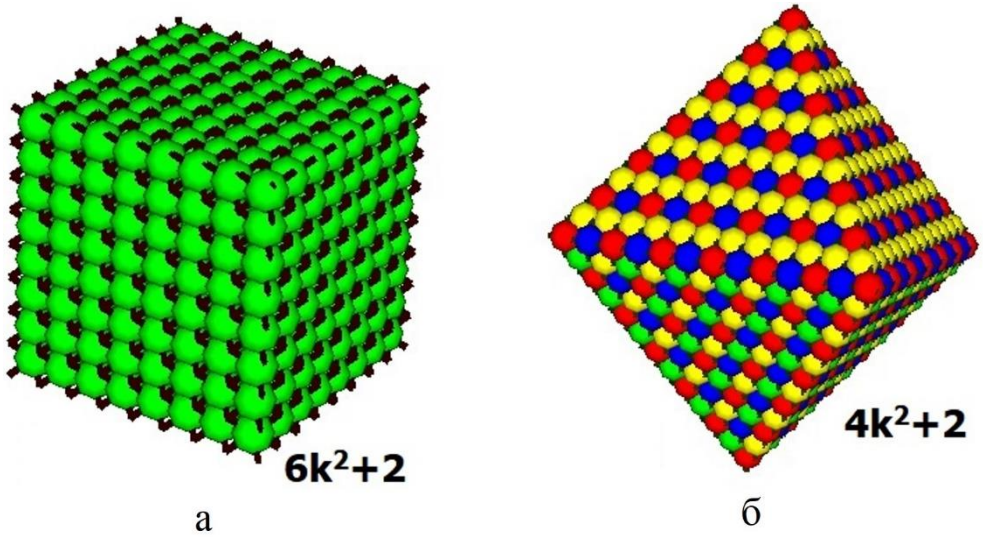


Рис. 30. Галит при РСА анализе в виде: а – куба; б – октаэдра

Исследование геометрии данных свободных кластеров указывает на существование относительно малых незаряженных кластеров $(NaCl)_4$ одновременно с крупными кластерами $(NaCl)_{11}$ [1], имеющими нейтральный заряд. Форма таких малых кластеров близка к кубической, при которой устойчивость подтверждена теоретическими расчетами на основе метода молекулярной динамики.

Газовая электронография из области структурной химии в применении к соединениям галогенидов щелочных металлов показала содержание двухатомных и димерных элементарных кластеров в парах металлов. В этом случае под двухатомными кластерами понимаются мономерные диполи NaCl, а димерные элементарные кластеры выступают в виде искаженных квадратов.

Самая вероятная форма полиэдра роста галита и в природных, и в лабораторных условиях представляется в виде правильного куба, однако его структура при этом описывается гранецентрированной кубической решеткой и симметрией группы кубической гранецентрированной решетки.

2.3.2. Теллурид свинца

Кристаллический зародыш и нанокластер алтаита образуется из диполей $Pb^{2+}Te^{2-}$, в которых связь осуществляется через диполь-дипольное взаимодействие в обоих случаях – при сборке или при термическом разрушении. Такие обратимые процессы идеально подходят под терминологию «снизу» и «сверху».

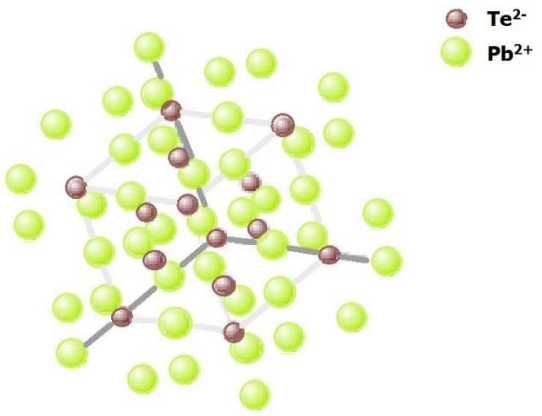


Рис. 31. Нанокластер алтаита PbTe

Таблица 18

Кристаллоструктурные данные алтаита

ALTAITE 1, t-halite, PbTe,		Cubic			Z=4	F m3m
Ref.Str.: Wyckoff R.W.J. (1964)						
Lattice parameters (cub.angs.degr)		Co-ordinates for all atomic positions				
		N_0	N_0P	x/a	y/b	z/c
a = 6.454	Alpha = 90.0	1	1	0.0	0.0	0.0
		2	2	0.5	0.5	0.5
b = 6.454	Beta = 90.0	3	1	0.5	0.0	0.5
		4	1	0.5	0.5	0.0
		5	1	0.0	0.5	0.5
c = 6.454	Gamma = 90.0	6	2	0.0	0.5	0.0
		7	2	0.0	0.0	0.5
		8	2	0.5	0.0	0.0
Selected interatomic distances (cation-anion-anion):						
N_0P	Atom	Rad.sph. (angs.)		C.N.	Distance (angs.)	
1	In	3.984		12	4 × 3,244; 8 × 3,3701	

В случае, когда в программе расчета геометрический центр диполя меняется на точку, со стороны кристаллографии, образуется

правильная система точек, принадлежащая пространственной группе Fm3m, схожей с пространственной группой многих металлов. Форма наименьшего точечного нанокластера является кубооктаэдрической, соответственно приводящая при росте структуры к нанокластеру и кристаллическому зародышу в виде кубооктаэдра (рисунок 32).

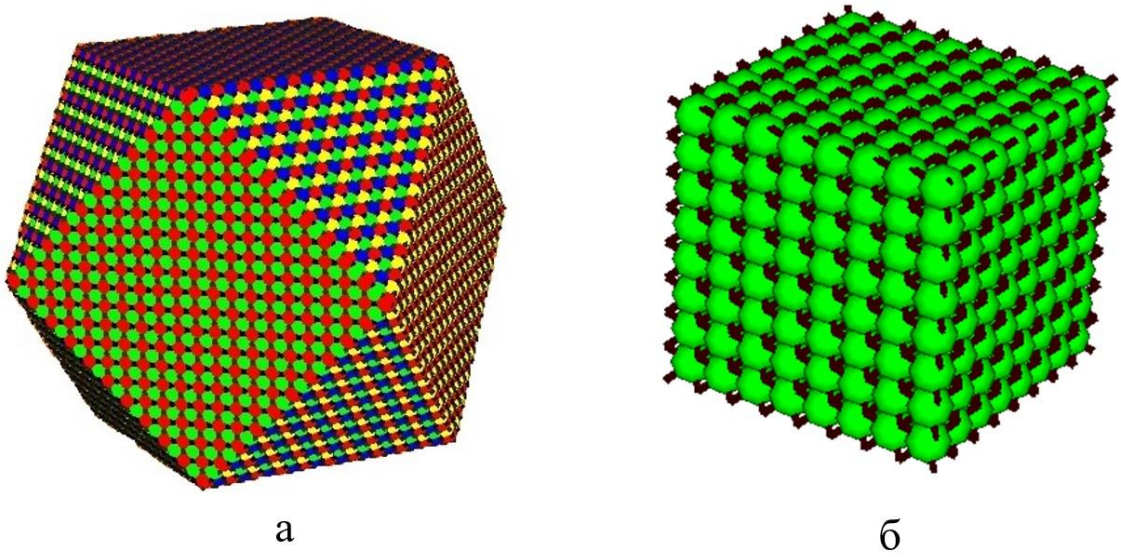


Рис. 32. Упаковочный многогранник роста нанокластераалтаита, построенный из: а – диполей $Pb^{2+}Te^{2-}$; б – димеров

Выбранное для демонстрации метода расчета количество сфер роста (20 сфер) при периоде решетки 6,45Å соответствует таким же размерам (12,9 нм) ребра кубооктаэдра (кубическая сингония), что и в предыдущем случае для октаэдра. Магические числа, отражающие количество атомов на поверхности многогранника роста, определяются по формуле $N_k = 10k^2 + 2$. Таким образом, для наращивания размера кубооктаэдра до экспериментально наблюдаемых величин (около 30 нм) также понадобится использовать в расчете около 50 сфер. Аналогия с ростом металлов в этом варианте не ограничивается констатацией факта. Последовательность количества точек (диполей) на поверхности составляет последовательный набор чисел: 1, 12, 42, 92, 162, 252, 362, 492, 642, …, полностью соответствует магическим числам, стоящим в эксперименте масс-спектроскопии магния. Можно считать, что этот эксперимент явился решающим для доказательства существования кластеров, растущих по законам, прогнозируемым метрической моделью.

Последовательно складывая поверхностные атомы при послойной сборке кубооктаэдрического (и икосаэдрического) кластера, имеем: 1 + 12 = 13, 1 + 12 + 42 = 55, 1 + 12 + 42 + 92 = 147, и далее 147 + 162 = 309, 309 + 252 = 561, 561 + 362 = 923, 923 + 492 = 1415, 1415 + 642 = 2057, и т.д.

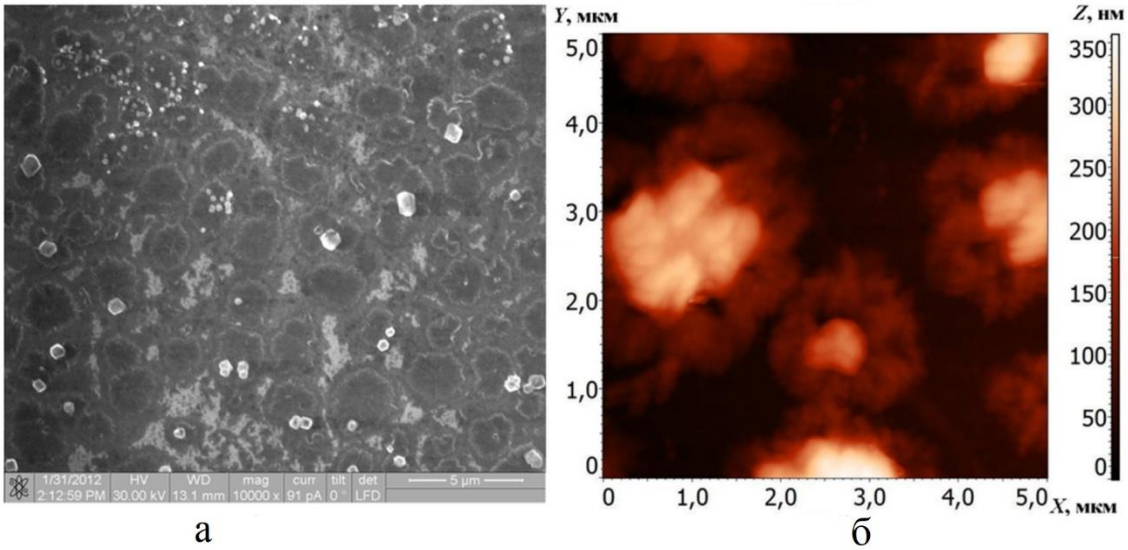


Рис. 33. Исследование структуры осажденного тонкого слоя: а – РЭМ-изображение; б – АСМ-изображение (ВлГУ, каф. ФИПМ)

Тем не менее проведенные эксперименты (рисунок 33) показывают, что кристаллы PbTe вырастают в форме кубиков, а не кубооктаэдров. В рассматриваемой экспериментальной части исследований предложен способ получения полупроводниковых наночастиц PbTe со средними размерами от 5 нм до 30 нм при воздействии непрерывного лазерного излучения ближнего инфракрасного диапазона умеренной интенсивности (до 10^6 Вт/см^2) на кристаллическую мишень, помещенную в глицерин.

2.3.3. Корунд

Оксид алюминия – корунд (Al_2O_3).

Комбинация уникальной пористой структуры с высокой температурной, механической и химической стабильностью делает пленки анодированного оксида [5] алюминия привлекательным материалом для различных применений в области фильтрации и разделения смесей, хранения информации, в сенсорике и для синтеза нульмерных нанокластеров.

Нами была проведена серия экспериментов по определению химического состава образцов материала (ALOX) [6] с помощью методов рентгеновского флуоресцентного анализа, в котором количественные отношения атомов алюминия и кислорода для Al_2O_3, $Al(OH)_3$ и AlO(OH) должны отличаться друг от друга. Результаты анализа указывают, что основа вещества ALOX принадлежит оксиду алюминия (99,64 %) состава Al_2O_3, что уменьшило количество вариантов структур, для дальнейшего исследования.

Электронная микроскопия, проведенная на образцах, полученных при различных напряжениях, показала, что размеры пор могут быть сделаны различными, но пористая микроструктура надбарьерного слоя оксида алюминия во всех случаях сохранялась.

2.4. Методы анализа и моделирование малых природных кластеров (по классификации)

2.4.1. Масс-спектрометрия

Масс-спектрометрия представляет собой метод исследования и анализа веществ, в основе которого лежит ионизация атомов и молекул вещества и разделение образующихся ионов в соответствии с их массовым числом m/z – отношением массы иона к его заряду – в электрическом или магнитном поле.

Преимуществом данного метода является достаточно малое количество вещества. Однако главным недостатком является то, что в методе исследуются продукты превращений самого вещества, т. к. метод – разрушающий.

Метод масс-спектрометрии получил свое название из-за графического распределения ионов по массовым числам – зависимости интенсивности ионного потока от отношения массы к заряду, которое схоже по виду со спектром. Этот метод не принадлежит к спектроскопическим, так как он не несет в себе взаимодействия вещества с электромагнитным излучением.

Масс-спектрометр, схема которого приведена на рисунке 34, является вакуумным прибором, основой которого является движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.

Сущность данного метода представляет собой строго последовательное выполнение следующих действий:

1) ионизация молекулы вещества;

2) ускорение заряженных частиц в вакууме, переходящее из электрического поля в магнитное поле;

3) анализ количества, скорости, искривления траектории частиц в магнитном поле. Более заряженные частицы лучше взаимодействуют с магнитным полем, обратно пропорционально частицам с большой массой.

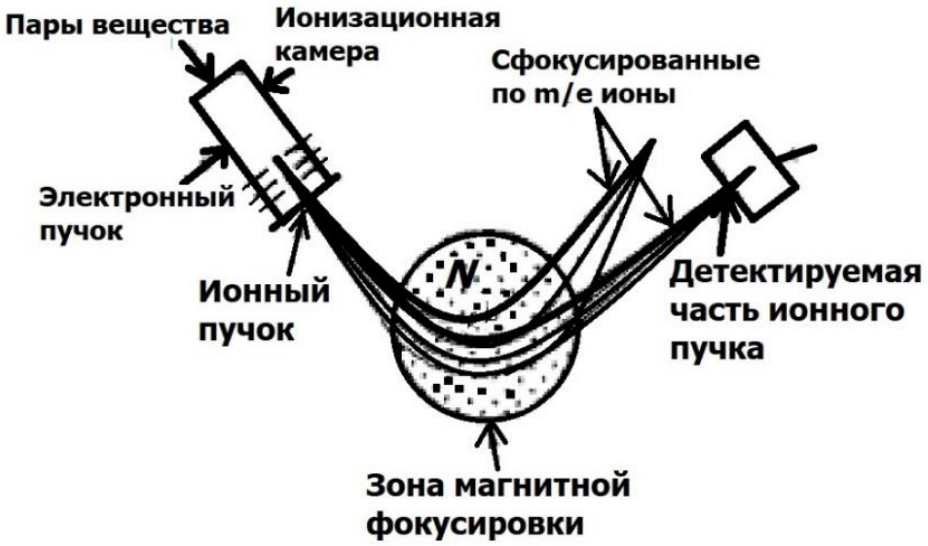
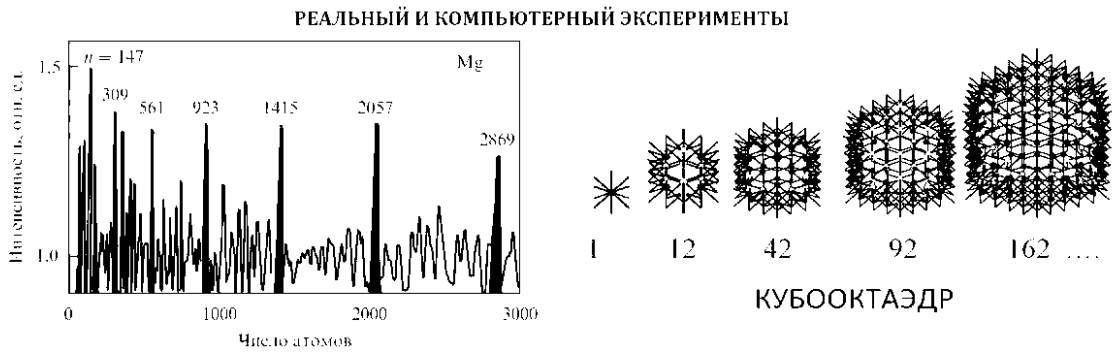


Рис. 34. Схема устройства и работы масс-спектрометра

Наглядным примером будет являться пример масс-спектра исследования магния, на котором пики обозначают количество атомов в окружении на каждом следующем уровне роста.

Числовая последовательность $N_j = \sum_{k=1}^{j}(10k^2 + 2)$ роста структуры кластера представлена на рис. 35 и называется «магическими числами». Аналогичные последовательности чисел роста наблюдается и для некоторых других атомарных кластеров. Каждый раз, в начале, при переходе от кластера одного размера к другому, симметрия его нарушается, а затем восстанавливается при полном покрытии поверхности атомами (молекулами) следующего слоя. Пример распределения кластеров по массам соответствует результатам эксперимента масс-спектроскопии для атомов магния с тем же законом числовой последовательности послойного роста $10k^2 + 2$ приведен на рисунке 35 (по работе [4]).



Магические числа $N_k = 10k^2 + 2; N_v = \sum N_k$

Рис. 35. Масс-спектроскопия роста кластеров магния

2.4.2. Электронная микроскопия

Метод электронной микроскопии (ЭМ) действует за счет использования пучка ускоренных электронов в глубоком вакууме и обладает высокой разрешающей способностью и пределом разрешения 2-3 Å. Применяется для исследования микроструктуры тел, локального состава, электрических и магнитных полей на поверхности или в микробъеме тела. Конечное изображение в электронной микроскопии получается за счет рассеяния электронов на атомах вещества вследствие явлений дифракции и поглощения энергии электронов. Это происходит при проходе пучка электронов через локальные участки объекта, которые отличаются друг от друга по толщине и плотности. Принцип работы у светового и электронного микроскопов схожи по ряду следующих причин: аналогичный ход лучей, наличие фокусирующих линз, в ЭМ выступают конденсоры – магниты, источнику света аналогична электронная пушка.

Виды ЭМ.

1. Растровый электронный микроскоп (РЭМ) (рисунок 36) – позволяет исследовать любые массивные объекты без начальной предподготовки, исследовать структуру поверхности одного и того же участка при различных режимах, таких как: с помощью вторичного излучения, вторичных электронов, поглощенных электронов. Также при послойном стравливании имеется возможность наблюдать структуру и топографию поверхности объекта, анализировать химический состав.

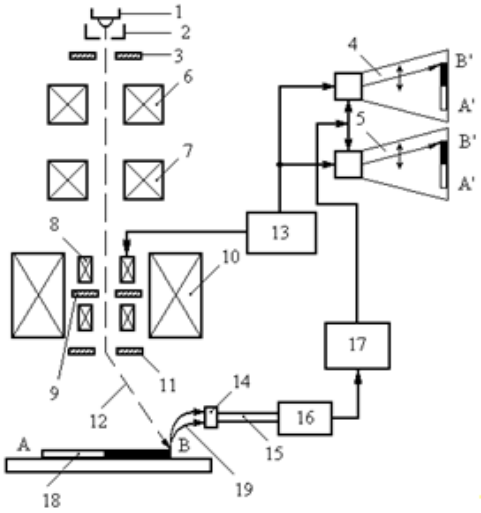
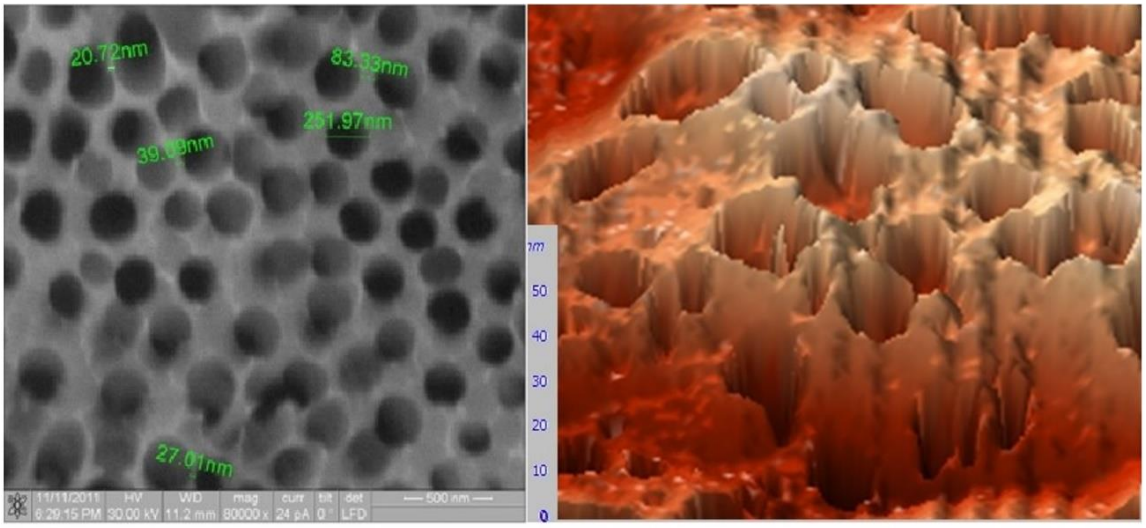


Рис. 36. Схема растрового электронного микроскопа:
1 – термоэмиссионный катод; 2 – управляющий электрод; 3 – анод, 4 – ЭЛТ для наблюдения; 5 – ЭЛТ для фотографирования; 6,7 – первая и вторая конденсорная линзы; 8 – отклоняющие катушки; 9 – стигматор; 10 – объективная линза; 11 – объективная диафрагма; 12 – электронный пучок; 13 – генератор развёртки электронного луча микроскопа и ЭЛТ видеоблока; 14 – сцинтиллятор; 15 – светопровод; 16 – ФЭУ; 17 – видеоусилитель; 18 – исследуемый образец; 19 – регистрируемый сигнал (оптический, рентгеновский или электронный)



а б

Рис. 37. Электронная микроскопия различных образцов анодированного алюмооксида (ALOX): а – растровый электронный микроскоп, б – атомносиловой микроскоп [6]

Для определения степени кристалличности исследуемых образцов проводятся дифрактометрические эксперименты (см. пример работы дифрактометра на рисунке 38 исследованного материала анодированного алюмооксида [5]).

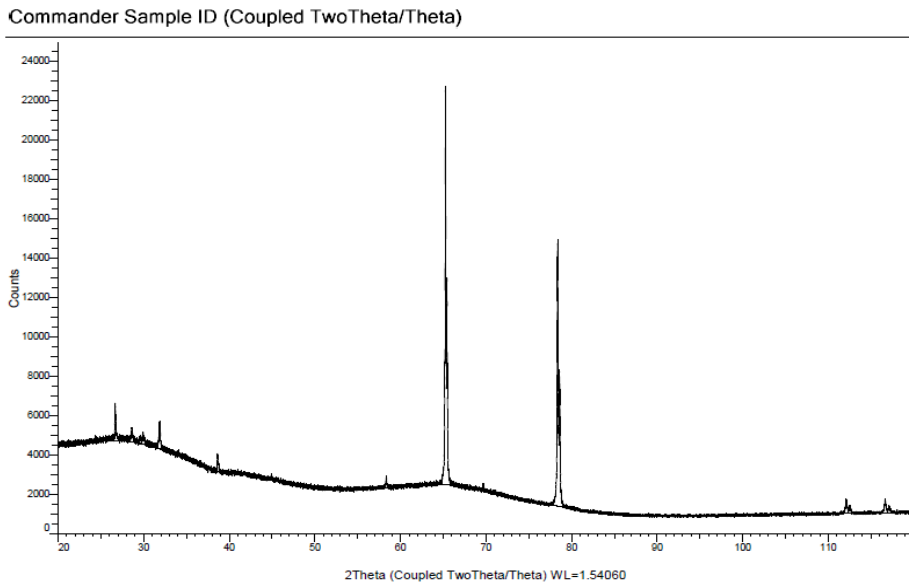


Рис. 38. Дифрактограммы исследуемого образца алюмооксида (рис. 37, а)

В работе [1] предложен способ получения кластеров наночастиц PbTe со средними размерами 5 – 30 нм при воздействии непрерывного лазерного излучения ближнего ИК диапазона умеренной интенсивности (до 10^6 Вт/см^2) на кристаллическую мишень, помещенную в глицерин. Как показано в наших работах ранее (см. список публикаций в [1, 2, 3]), использование непрерывного лазерного излучения позволяет инициировать наноструктурирование полупроводников без специальных требований к условиям окружающей среды.

В рассматриваемом случае кристаллический зародыш и нанокластер есть результат сборки из диполей $Pb^{++}Te^{-}$. Связь носит характер диполь-дипольного взаимодействия и при сборке, и при термическом разрушении.

В компьютерной программе расчета структуры нанокластера геометрический центр диполя Pb-Te заменяется точкой. В этом случае, с позиции кристаллографии, образуется правильная система точек, соответствующая пространственной группе Fm3m, как у многих металлов. Форма наименьшего точечного кластера – кубо-октаэдрическая. Эта форма, как показывает расчет по программе «Orgraf», при росте структуры приводит к кластеру и кристаллическому зародышу в виде кубооктаэдра (рис. 39). Выбранное для демонстрации метода количество сфер роста (20 сфер), при периоде решетки 6,45 Å, соответствует таким же размерам (12,9 нм) ребра кубооктаэдра (в кубической сингонии). Количество атомов на *k*-й поверхности многогранника роста определяется по формуле $10k^2 + 2$. Таким образом, для наращивания размера кубооктаэдра до

экспериментально наблюдаемых в электронном микроскопе величин (8 – 30 нм) понадобится использовать в расчете от 20 до 50 «сфер».

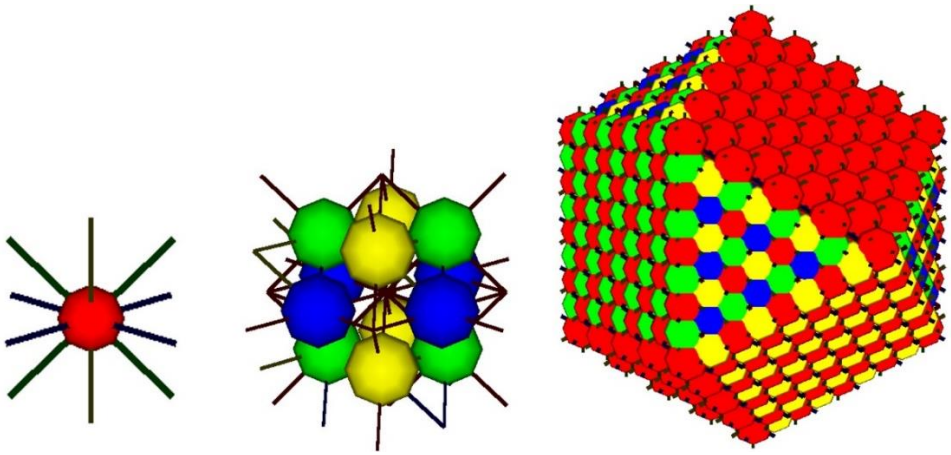
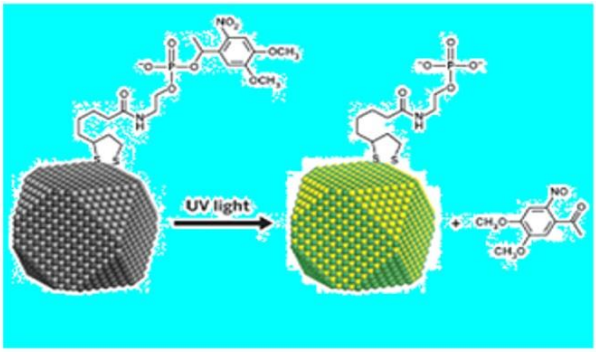
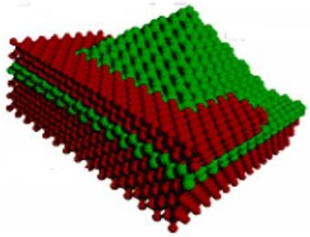


Рис. 39. Последовательность роста кластера PbTe в модели его развития

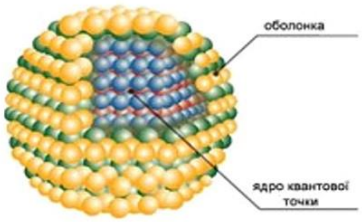
Примеры изображений наноструктур, полученных в рамках нанотехнологии при работе с туннельными и атомно-силовыми электронными микроскопами, представлены на рисунке 40.



а



б



в

Рис. 40. Примеры изображения наноструктур кристаллических зародышей (квантовых точек) по различным литературным источникам: а – CdSe и органическая молекула; б – пирамидка Ge на кремниевой платформе; в – квантовая точка CdS

Пример компьютерной сборки наноструктур моноклинной и ромбической серы, а также последующий рост многогранников, определяемых упаковкой молекул серы S_8 в реальных структурах, исследованных в кристаллографии, показаны на рисунке 41.

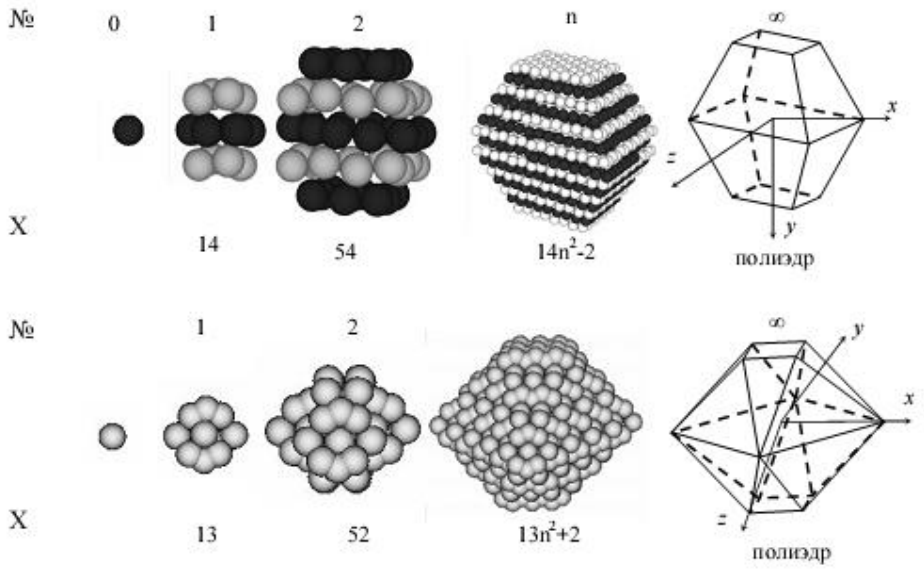


Рис. 41. Последовательность заполнения молекулами координационных сфер серы: а – моноклинной; б – ромбической: № - номер координационной сферы, X – количество молекул на поверхностях сфер

2.5. Проблема контактов в наноструктурной системе и кластерные элементы кольца. Сборка наносистем

Для наших исследований важно, что нарушения транспорта электронов могут существенно сказываться на работе электронных устройств, собранных на наноуровне. Причины, приводящие к нарушению стабильности работы устройств, можно в этом случае классифицировать на «внешние» и «внутренние».

Внутренние причины связаны, в первую очередь, с возможностью получения бездефектных проводников и квантовых точек (нанокластеров), а затем с технологией сборки в местах контактов, то есть с такой же проблемой, с которой столкнулась в начале своего развития микроэлектроника (см. нобелевскую лекцию Ж. И. Алферова). Действительно, и квантовая точка, и проводник на

наноуровне представляют собой наноструктуры, и каким образом кластер будет контактировать с мифической полуплоскостью проводника, с точки зрения технологии, не совсем понятно. И квантовая точка, и проводник в этом случае представляют собой наноразмерные кластеры, а их геометрия (расположение и координации атомов в различных плоскостях) будет существенно влиять на транспортные свойства электронов. Очевидно, например, что роль проводника должны играть либо специальным образом ориентированные монокристаллические зародыши, либо «вырезанные каким-либо образом» нанополоски из монокристалла реальных размеров. На сегодняшний день из известных материалов для этих целей, по-видимому, подходят однослойные или многослойные графеновые структуры, или УНТ. В любом случае, необходим априорный компьютерный эксперимент, определяющий – хотя бы на уровне геометрии, но близкий к реальным условиям – результат взаимодействия наноструктур при их контакте.

С этой целью, на основе расширения разработанной ранее авторами [7] 3D компьютерной программы, создана новая программа, имитирующая процесс сборки реальных (или модельных) нанокластеров определенного состава в рамках одно- или многоцентровой задачи зарождения структур. В первом варианте (один центр) «вырастает» наноразмерный зародыш монокристалла, а во втором варианте (многоцентровая задача) появляется система наноструктур поликристаллическая (НП). В многоцентровой задаче предусмотрено три варианта расчета: первый, НП - однокомпонентный со случайной ориентацией центров зарождения в случайные моменты времени начала роста; второй, НП – однокомпонентный с фиксированной ориентацией центров зарождения; и третий, НП – многокомпонентный (гетерофазный) со случайной ориентацией центров зарождения в случайные моменты времени. На рисунке 42 показаны примеры сборки гипотетического нанокластера в форме квантового кольца, а с однофазным нанополикристаллом комплексного соединения на рисунке 43.

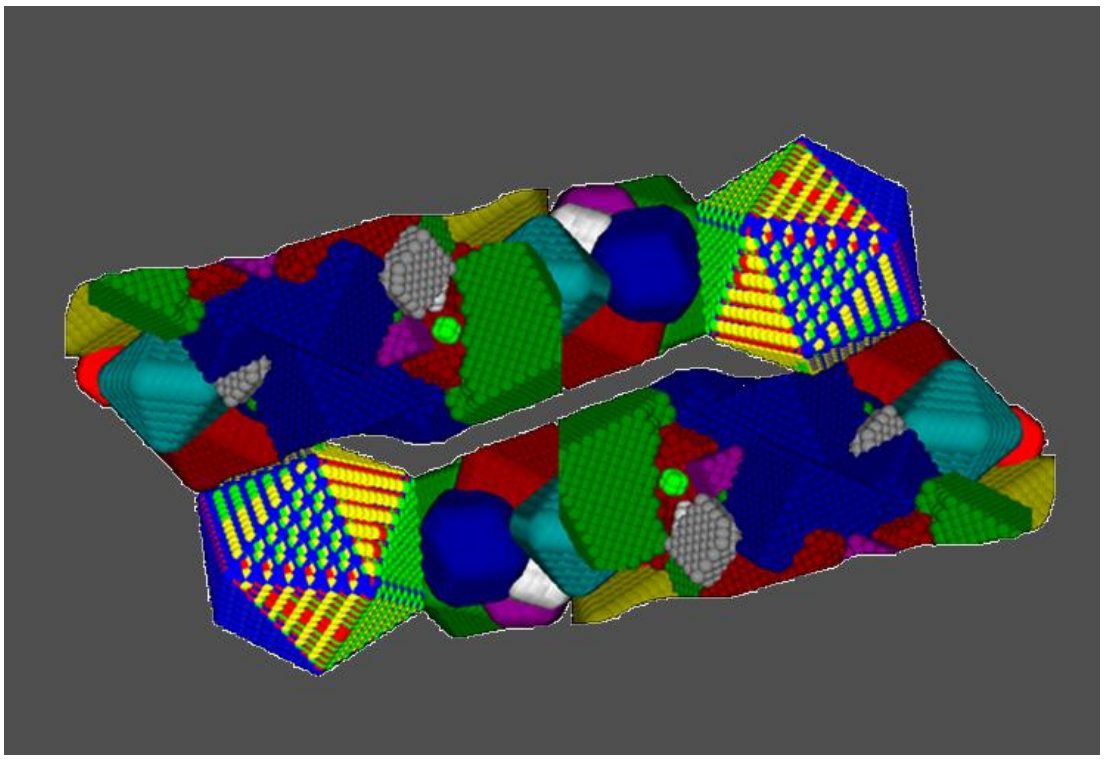


Рис. 42. Икосаэдрический кластер в контакте с гетерофазной нанополикристаллической проволокой в программе моделирования многоцентровой задачи роста образует квантовое кольцо

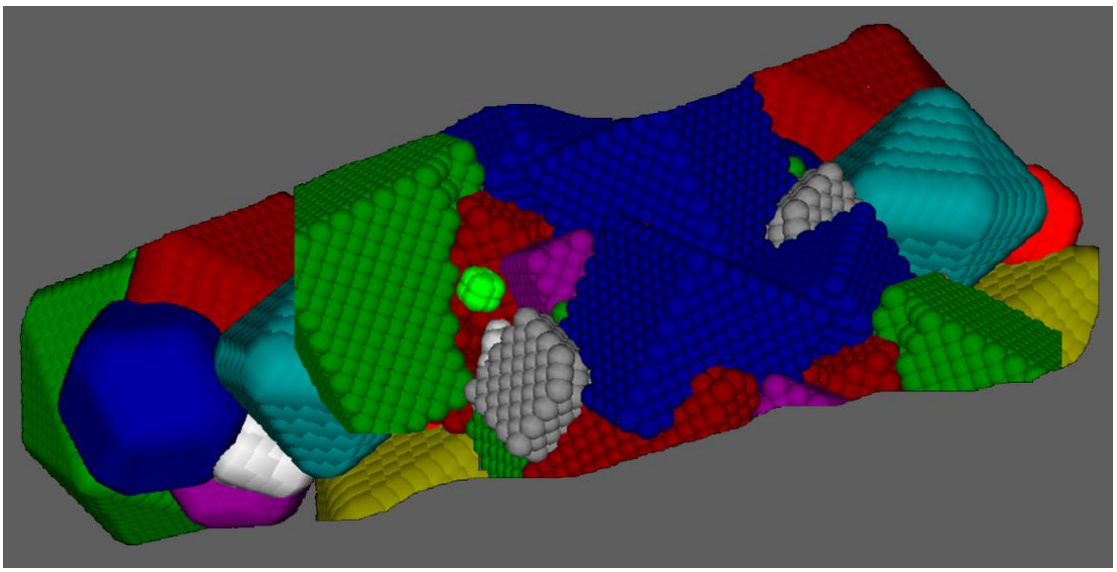


Рис. 43. Модель наномерной многофазной поликристаллической «проволоки»

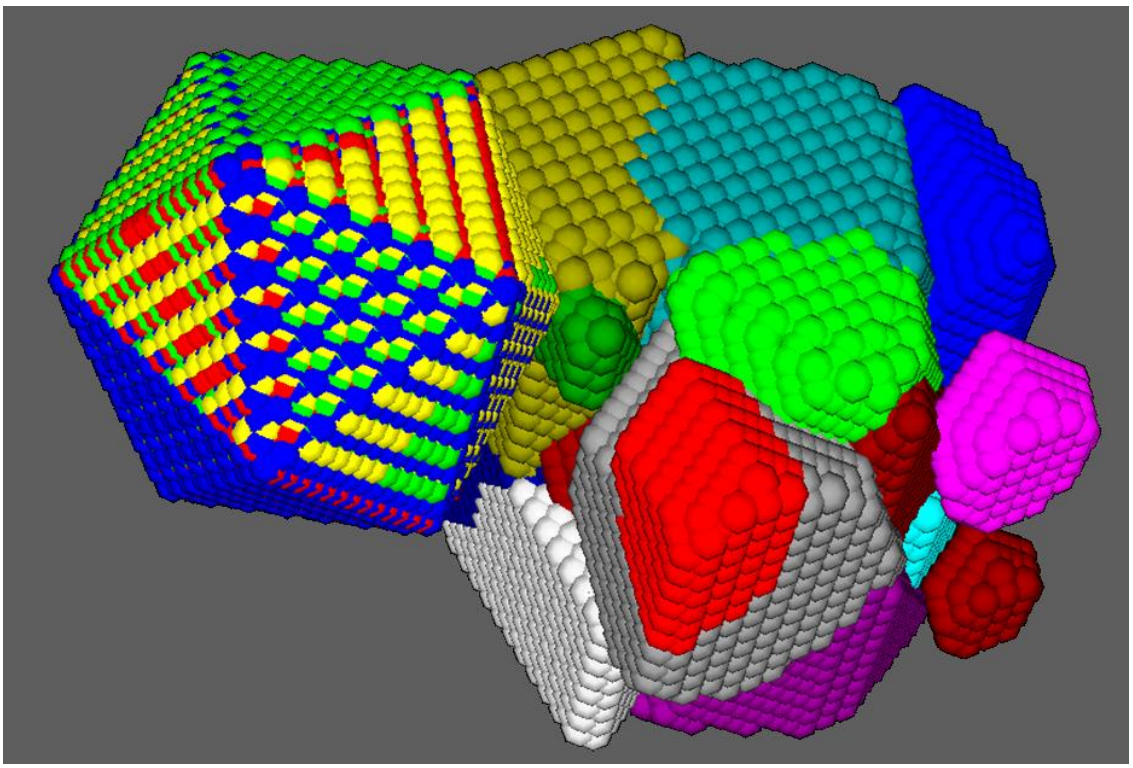


Рис. 44. Икосаэдрический металлический кластер в контакте с однофазным поликристаллом

При таком способе моделирования принципиально решается проблема совместимости веществ на основе их структурного соответствия, как часть исследований взаимодействий кристаллов с молекулами, кристаллов с кристаллами или наноструктур с наноструктурами и кристаллами. Создавая наносхемы, моделирующие элементы радиотехнических систем (фрактальных наноантенн, сверхрешеток, транзисторов и т. п.) и производя соответствующие расчеты физических характеристик этих установок, получаем инструмент для проектирования в наноэлектронике.

На рисунке 45 представлен результат компьютерной имитации процесса посадки наноструктуры антрацена, обладающего полупроводниковыми свойствами, на модельную платформу так, как если бы его можно было реально провести с помощью манипулятора в атомно-силовом микроскопе. Наноструктура антрацена рассчитана так же, как и для серы, на основе знания координаций молекул антрацена, полученных из результатов исследования этого вещества методами рентгеновского дифракционного анализа.

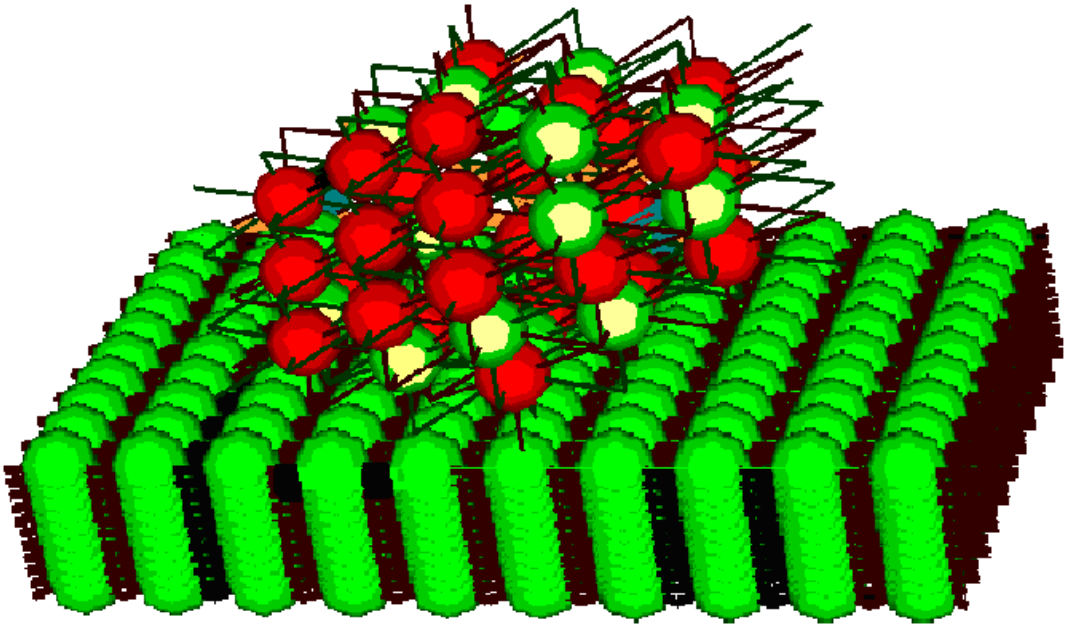


Рис. 45. Имитация «посадки» наноструктуры антрацена на модельную платформу (черным цветом показаны нескомпенсированные внешние координационные связи на поверхности антрацена)

Решая многоцентровую задачу роста зародышей при массовой кристаллизации, получаем результаты, которые отображаются в трехмерном пространстве так, как это показано на рисунке 46.

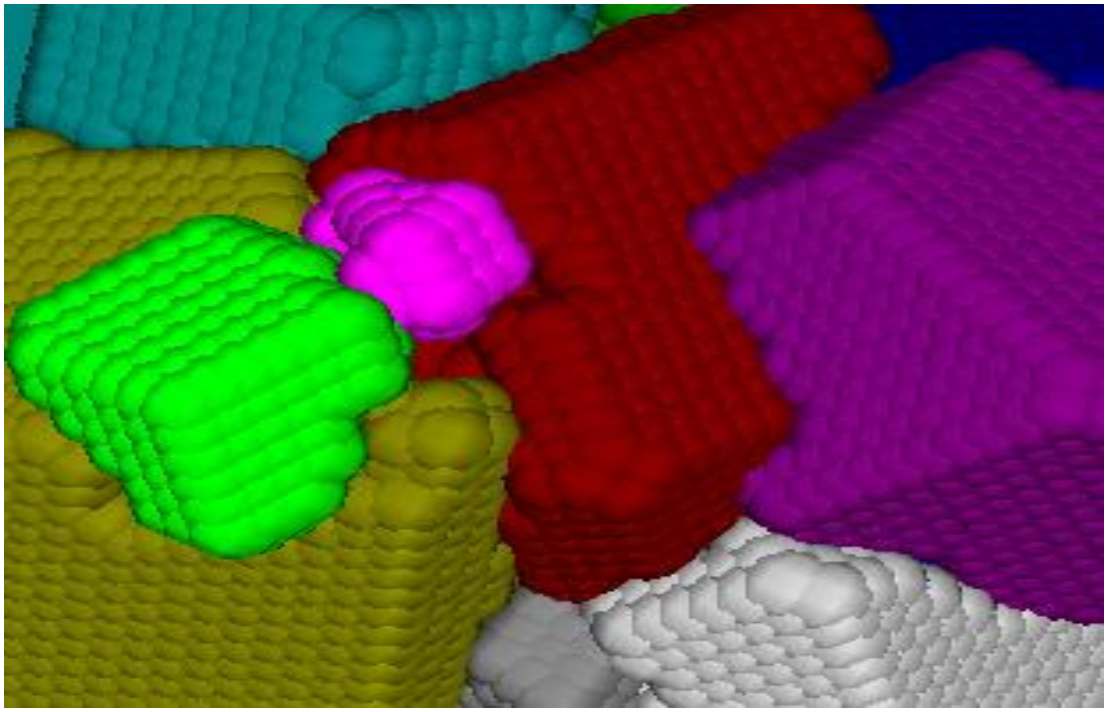


Рис. 46. Компьютерное моделирование роста наноструктур при массовой кристаллизации (многоцентровая задача роста)

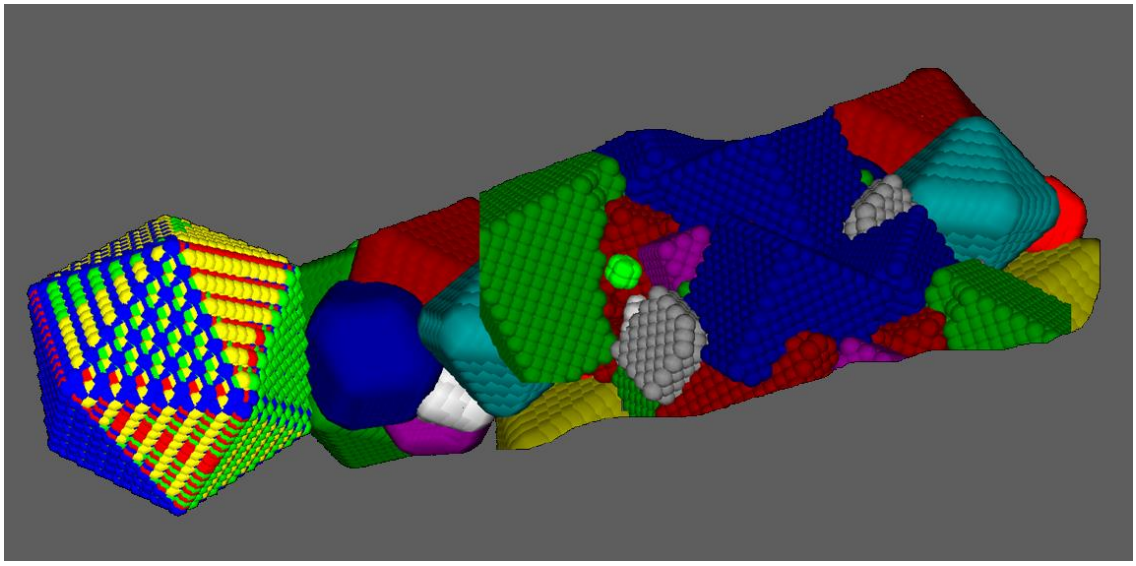


Рис. 47. Икосаэдрический металлический кластер в контакте с поликристаллической проволокой

Сложность проектирования конкретных схем и их сборки на технологическом уровне связана с отсутствием сколько-нибудь полного банка структур не только реальных, но и модельных нанокластеров. Действительно, для расчета наноструктуры из 1000 атомов прямым перебором 1000 (!) вариантов расположения атомов в модели трудно найти реальные кластеры. Комплексным подходом к расчетам структур нанокластеров, основанным на совместном использовании теоретических методов квантовой механики и на анализе реальных данных о координации связей между атомами и молекулами, полученных из рентгеновского структурного анализа (РСА), количество вариантов можно уменьшить. Результаты применения нами методики моделирования отдельных нанокластеров на основе информации баз данных РСА, представлены в таблице 19.

Таблица 19

Нанокластеры, рассчитанные на основе информации баз данных РСА

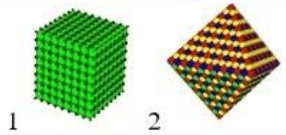
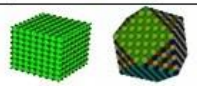
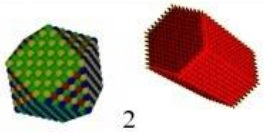
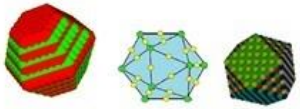
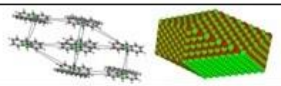
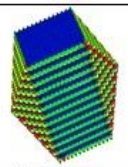
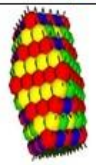
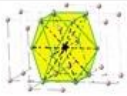
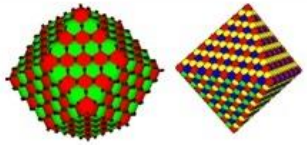
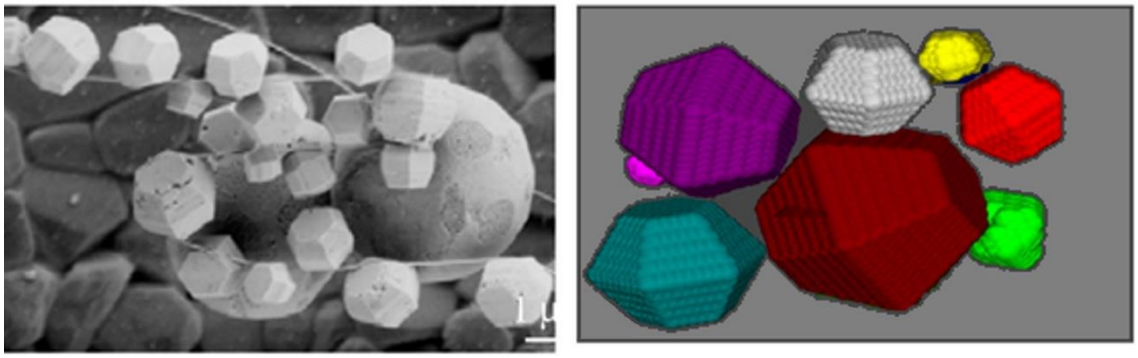
№ п/п	Химсостав (формульные единицы); пространственная группа симметрии	Кластерная геометрическая модель	Последовательность чисел заполнения *k*-й поверхности кластера «магические числа»	Публикация
1.	Галлит (поваренная соль) 1. $(NaCl)_2$ – димер. 2. (NaCl) – диполь пр. гр. Fm3m		Куб (гексаэдр) $6k^2+2$; Октаэдр $4k^2+2$ (РСА)	[6]
2.	Теллурид свинца PbTe, $(PbTe)_2$ Пр. гр. Fm3m		Куб (гексаэдр) $6k^2+2$ или кубооктаэдр $10k^2+2$ (РСА.ЭМ)	[7]
3.	1. Металлическая медь Cu, Ag и др. пр. гр. Fm3m, 2. Магний Mg_2 пр. гр. P6(3)mmc		1. Кубооктаэдр $10k^2+2$. 2. Гексагональная призма $18k^2+2$ (РСА)	Не опубликовано
4.	Сера молекулярная S_8 пр.гр. P2/c		«Скошенная» дипирамида (РСА) $14\ k^2-2$	[8]
5.	Окись алюминия пр. гр. $R\bar{3}c$		«Скрученная» тригональная призма (РСА) $4k^2+2$	[9]
6.	Цинк, магний, кадмий, окись цинка пр.гр. P6(3)mmc		Либо «скошенная» гексагональная дипирамида (РСА, ЭМ): 1,12,44,96,170, 264, либо икосаэдр либо кубооктаэдр (масс-спектр Mg) $10k^2+2$	[10]
7.	Антрацен пр.гр. $P2_1/a$		Вытянутый кубооктаэдр $10k^2+2$ (РСА)	[11]

Таблица 19 (окончание)

8.	Декакарбамид нитрата кобальта пр. гр. $P\bar{1}$		Искаженная гексагональная дипирамида $6k^2+2$ (РСА)	[12]
9.	Тетракарбамид нитрата кобальта пр. гр. $P\ 2_1/c$		$4к^2+2$:6,38,102, $8k^2+2$:10,34,74, (РСА)	[12]
10.	Йод молекулярный I_2 пр. гр. B mab		Вытянутый кубооктаэдр $10k^2+2$ (РСА)	[10]
11.	Индий пр.гр. P4(2)nnm		Вытянутый кубооктаэдр $10k^2+2$ (РСА)	[10]
12.	Натрий пр.гр. I m3m		Ромбододекаэдр или октаэдр $12k^2+2$ (РСА)	[10]

К сожалению, прямых экспериментальных доказательств существования нанокластеров, модели которых приведены в таблице 19, пока существует мало. В качестве одного из примеров приведем фотографию реального эксперимента по веществу оксида цинка, полученную методами электронной микроскопии (рисунок 48, а), и модельное изображение нанополикристалла (рисунок 48, б), полученное по результатам компьютерного эксперимента в программе моделирования многоцентровой задачи зарождения кластеров.

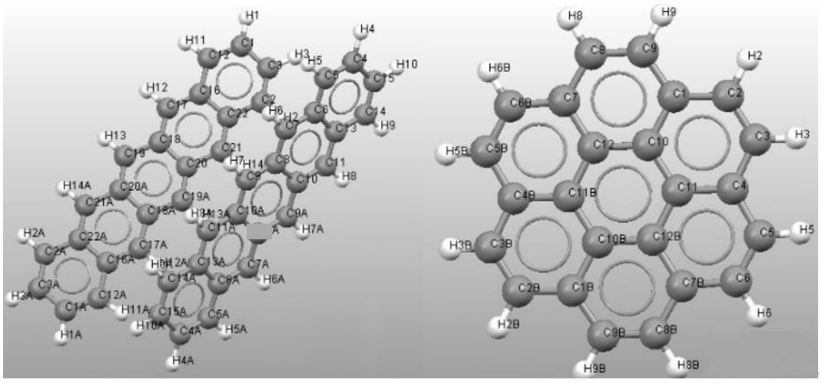


а б

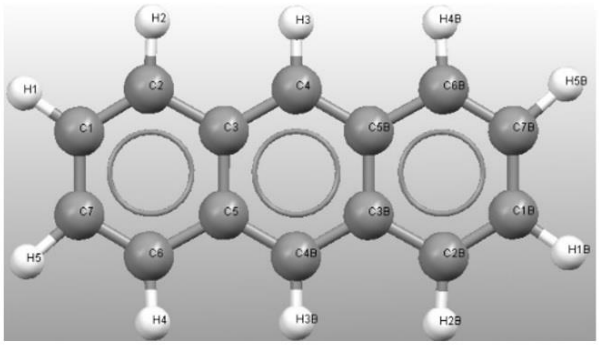
Рис. 48. Нанокластеры оксида цинка: а – размерами около 500 нм в электронной микроскопии [5]; б – рассчитанные в программе моделирования многоцентровой задачи зарождения кластеров ZnO (ранее не опубликовано)

2.6. Кластеры органических соединений

Антрацен, пентацен, коронен относятся к органическим молекулярным соединениям полиароматических углеводородов [11] (рис. 49). Обычно представляют собой присоединенные бензольные кольца в количестве двух и более единиц.



а б



в

Рис. 49. Молекулярные кластеры: а – пентацен (C22H14); б – коронен (C24H12); в – антрацен (C14H10) в КБСД [3]

Данные органические кластеры имеют широкое развитие в области оптоэлектроники: они являются органическими полупроводниками. Например, пентацен является p-областью в некоторых органических полевых транзисторах, при котором мобильность зарядовых носителей составит до 5 см^2/В.

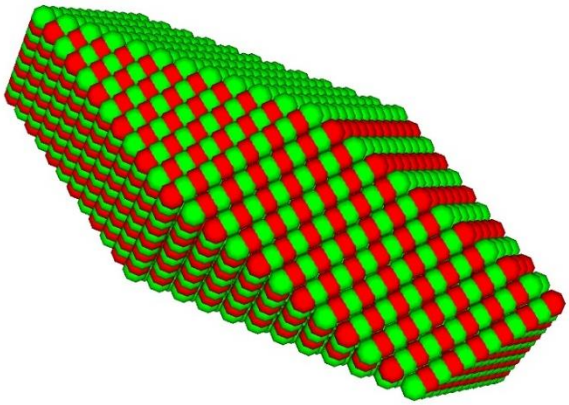


Рис. 50. Антрацен в программном комплексе ОРГРАФ («Компьютерный наноскоп»)

2.7. Математическая модель эволюции для микробиологии

Исследования известного микробиолога Е. Кунина, проведенные на основе теории систем, статистики и использования компьютерных программ многомерного шкалирования, привели автора [1] к следующим выводам, характеризующим состояние современной вирусологии: «По-настоящему пригодный концептуальный аппарат и технический инструментарий для синхронного, всестороннего анализа древовидных и сетевидных эволюционных процессов еще только предстоит разработать. Как только такие методы появятся, мы начнем распознавать истинную картину эволюции. Разработка адекватной концептуальной платформы для понимания эволюции прокариот является основным вызовом следующего этапа в развитии этой сферы исследований». В книге приводится также результат моделирования в «геномном пространстве» динамики эволюционного процесса, идущего в соответствии с научными исследованиями (рисунок 51). Поиск «общего предка» в микробиологии представлен трехмерными сечениями процесса (по Кунину).

Для решения некоторых проблем, возникающих при моделировании закономерностей развития микроорганизмов, нами предлагается использование аппарата групп нарушенной симметрии (ГНС) [2], так как при групповых расчетах процессов с нарушенной симметрией размерность и топология пространства не имеют значения. В этом, по нашему мнению, заключается преимущество математической модели ГНС перед другими моделями.

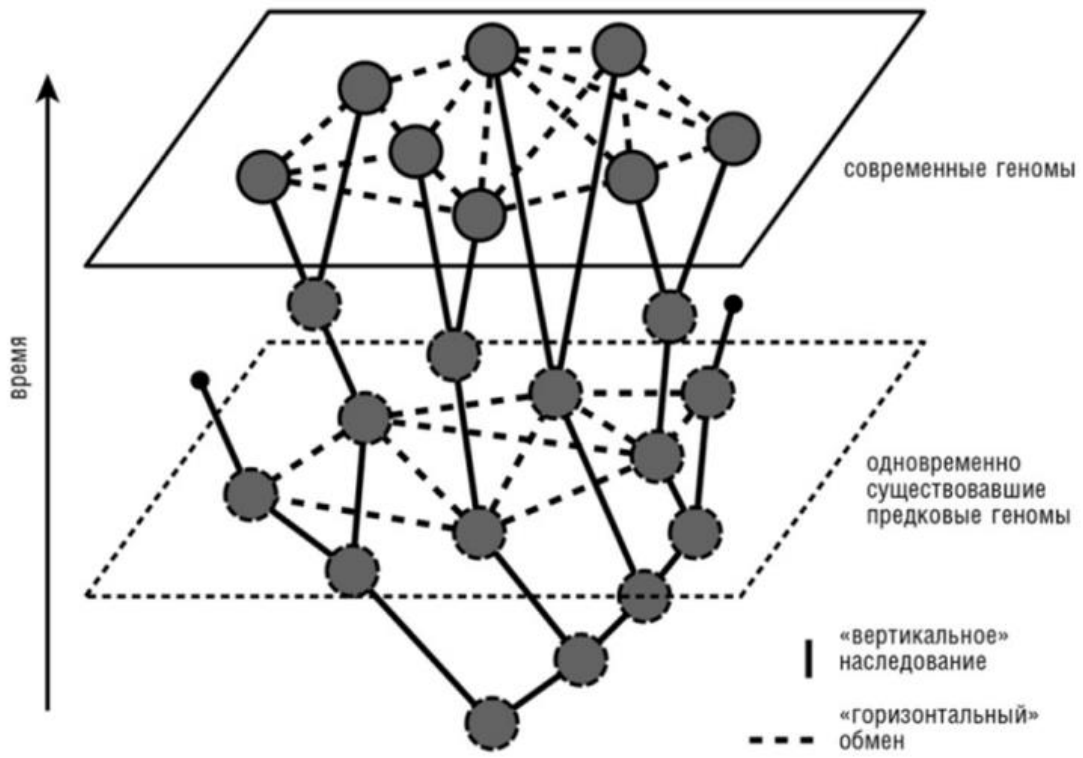


Рис. 51. Сетевое представление эволюции прокариот (по [1])

Математическую модель эволюции для микробиологии предлагается применить в рамках теории групп нарушенной симметрии на основе двух методик. Первая заключается в том, чтобы расчеты бинарных преобразований, которые проводятся с помощью компьютерной программы, можно было бы «визуализировать». Вторая методика должна позволить проведение компьютерных экспериментов, основываясь не только на известных свойствах системы, но и на гипотетических предположениях о ее возможностях. В качестве примера рассмотрим последовательность анализа состояний системы в классической теории конечных групп симметрии и неклассической теории нарушения симметрии. В работе [3], в частности, был представлен такой анализ в группе кватернионов следующим образом. Если в качестве базиса комплексного пространства выбрать векторы: 0 = (1, i), 1 = (– 1, –i), 2 = (i, 1), 3 = (–i, –1), 4 = (1, –i), 5 = (–1, i), 6 = (–i, 1), 7 = (i, –1), то, как известно из математики, им будет соответствовать операционное множество, образующее двухмерное представление:

$$e = (0)(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \qquad -e = (01)(23)(45)(67) = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix},$$

$$i = (0213)(4756) = \begin{pmatrix} i & 0 \\ 0 & -i \end{pmatrix}, \; -i = (0312)(4657) = \begin{pmatrix} -i & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix},$$

$$j = (0415)(2637) = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ -i & 0 \end{pmatrix}, \; -j = (0514)(2736) = \begin{pmatrix} 0 & i \\ i & 0 \end{pmatrix},$$

$$k = (0617)(2534) = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \; -k = (0716)(2435) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Выражая элементы множества представления через подстановки, будем иметь восемь операций, составляющих группу 8-го порядка (таблица 20).

Таблица 20

Таблица Кэли

g(0) = 1= e = (0 1 2 3 4 5 6 7)= (0)(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7);
g(1) = i = (2 3 1 0 7 6 4 5) = (0213)(4756);
g(2) = j = (4 5 6 7 1 0 3 2) = (0415)(2637);
g(3) = k = (6 7 5 4 2 3 1 0) = (0617)(2534);
g(4) = -1 = (1 0 3 2 5 4 7 6) = (01)(23)(45)(67);
g(5) = -i = (3 2 0 1 6 7 5 4) = (0312)(4657);
g(6) = -j = (5 4 7 6 0 1 2 3) = (0514)(2736);
g(7) = -k = (7 6 4 5 3 2 0 1) = (0716)(2435),

Поставим в соответствие каждому числу в записи преобразования перестановок группы кватернионов два (можно и больше) числа, а так как символов, определяющих группу кватернионов, всего 8, то и порядок полученной группы станет равным $N = 16$. Таблица соответствия старых и новых символов может быть выбрана на основе простого упорядоченного набора чисел:
0 = (0,1); 1 = (2,3); 2 = (4,5); 3 = (6,7); 4 = (8,9); 5 = (10,11); 6 = (12,13); 7= (14,15).

Последующая запись новых операций ($g_{\text{Н}}$) подстановок и их циклических разбиений будет выглядеть следующим образом:

$g(1_{\text{Н}})$ = (0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15) = (0)(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(9)(10)(11)(12)(13)(14)(15);
$g(i_{\text{Н}})$ = (4 5 6 7 2 3 0 1 14 15 12 13 8 9 10 11) = (0 4 2 6)(1 5 3 7)(8 14 10 12)(9 15 11 13);
$g(j_{\text{Н}})$ = (8 9 10 11 12 13 14 15 2 3 0 1 6 7 4 5) = (0 8 2 10)(1 9 3 11)(4 12 6 14)(5 13 7 15);
$g(k_{\text{Н}})$ = (12 13 14 15 10 11 8 9 4 5 6 7 2 3 0 1) = (0 12 2 14)(1 13 3 15)(4 10 68)(5 11 7 9);
$g(-1_{\text{Н}})$ = (2 3 0 1 6 7 4 5 10 11 8 9 14 15 12 13) = (0 2)(1 3)(4 6)(5 7)(8 10)(9 11)(12 14)(13 15);
$g(-i_{\text{Н}})$ = (6 7 4 5 0 1 2 3 12 13 14 15 10 11 8 9) = (0624)(1735)(8 12 10 14)(9 13 11 15);
$g(-j_{\text{Н}})$ = (10 11 8 9 14 15 12 13 0 1 2 3 4 5 6 7) = (0 10 2 8)(1 11 3 9)(4 14 6 12)(5 15 7 13);
$g(-k_{\text{Н}})$ = (14 15 12 13 8 9 10 11 6 7 4 5 0 1 2 3) = (0 14 2 12)(1 15 3 13)(4 8 6 10)(5 9 7 11).

Легко проверить простым перемножением этих операций, что построенная таким образом новая таблица Кэли будет идентична исходной таблице группы кватернионов, то есть группы симметрии упаковочных пространств 8-го и 16-го порядков, используемых для двумерной визуализации (см. [3]), изоморфны.

Очевидно, что таким образом можно произвольно увеличивать сложность структуры с сохранением ее симметрии. В продолжение исследований в работе [2] было показано, что процедура расширения структуры с сохранением ее симметрии, возможна также в структурах нетрансляционной и нарушенной симметрии. В частности, компьютерный эксперимент, проведенный для структуры из 34 точек, позволил выделить подгруппу ГНС 4-го порядка, представленную ниже операциями:

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33);
g[1]=(10 14 18 21 25 27 29 21 25 4 31 4 31 6 16 6 16 8 16 8 10 18 10 18 12 16 12 14 14 16 23 16 23 28);
g[2]=(31 16 16 18 16 14 16 18 16 25 16 25 16 29 16 29 16 25 16 25 31 16 31 16 31 16 31 16 16 16 18 16 18 14);
g[3]=(16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16).

Визуализация этих преобразований ГНС изображена на рисунке 52.

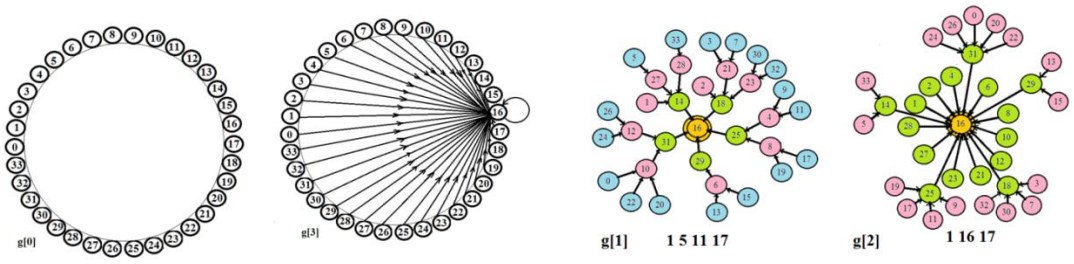


Рис. 52. Этапы развития процесса в группе нарушенной симметрии

При предложенном в этих работах способе «визуализации абстракций», которыми является запись и таблица умножения группы нарушенной симметрии, обнаруживается «рождение» корневых деревьев ориентированного графа. Поэтому появляется обоснованная надежда на моделирование деревьев эволюции в микробиологии. Математическое представление процесса эволюции прокариот, изображенное в работе Кунина (по рис. 51), в конвергентной модели групп нарушенной симметрии запишем следующим образом (таблица 21). На рисунке 53 показан соответствующий дивергентный процесс эволюционного развития в направлении оси времени.

Таблица 21

Таблица умножения группа ГНС 7-го порядка

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23);
g[1]=(0 0 0 1 1 2 3 3 4 2 6 6 11 5 10 9 7 7 8 8 15 15 14 14);
g[2]=(0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 3 3 6 2 6 2 3 3 4 4 9 9 10 10);
g[3]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 3 0 3 0 1 1 1 1 2 2 6 6);
g[4]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 3 3);
g[5]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1);
g[6]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0);

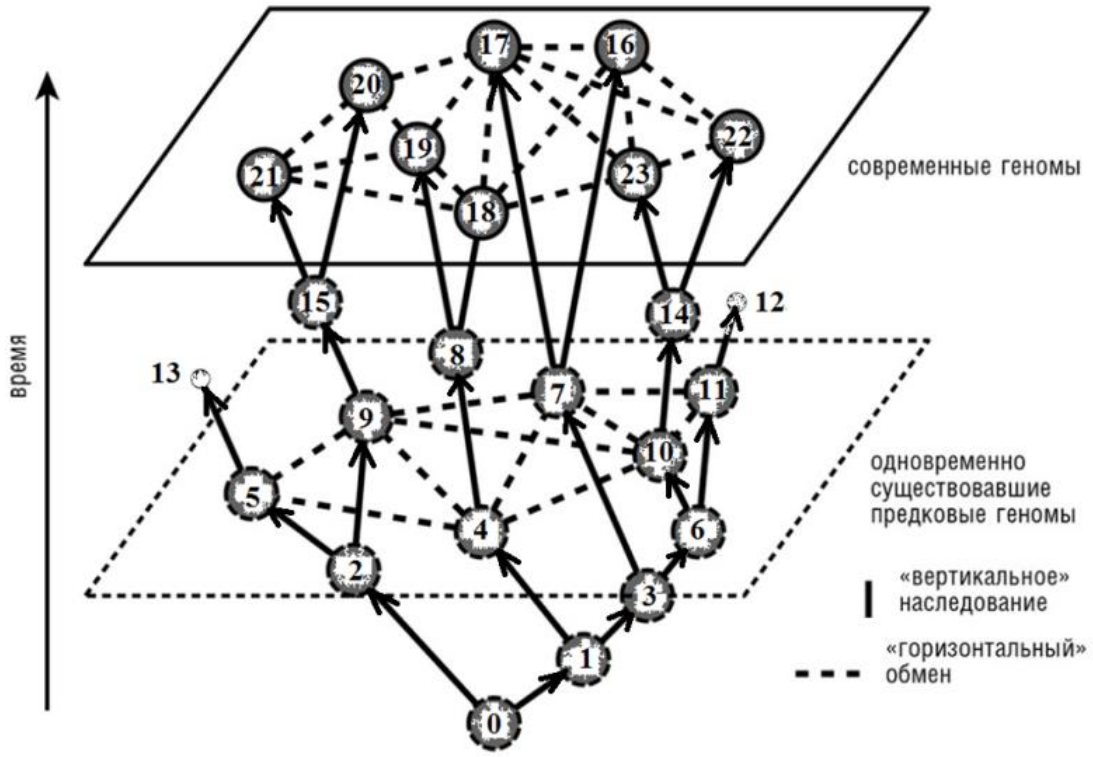


Рис. 53. Визуализация (по рис. 51) «дерева эволюции» в микробиологии

Количество этапов эволюционного процесса в реальном геномном пространстве состояний микроорганизмов может быть различным, но в группах нарушенной симметрии существует один тип нарушенной симметрии, который фиксирует только сами этапы, независимо от сложности системы. Вид преобразований и таблица умножения для системы из 14 точек (7 × 2) с 6 этапами эволюционной спирали представлена в таблице 22 (рисунок 54, а).

Таблица 22

Таблица Кэли

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]
g[1]=(2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 12 13);	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[6]
g[2]=(4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 12 13 12 13);	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[6]	g[6]
g[3]=(6 7 8 9 10 11 12 13 12 13 12 13 12 13);	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]
g[4]=(8 9 10 11 12 13 12 13 12 13 12 13 12 13);	g[4]	g[5]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]
g[5]=(10 11 12 13 12 13 12 13 12 13 12 13 12 13);	g[5]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]
g[6]=(12 13 12 13 12 13 12 13 12 13 12 13 12 13);	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]	g[6]

Визуализация одного элемента преобразований g[1] различных групп нарушенной симметрии с эволюционными шагами представлена на рисунке 54 в двух вариантах «расширения»: 7 шагов по 2 точки, рис. 54, а, и 8 шагов по 3 точки, рис. 54, б.

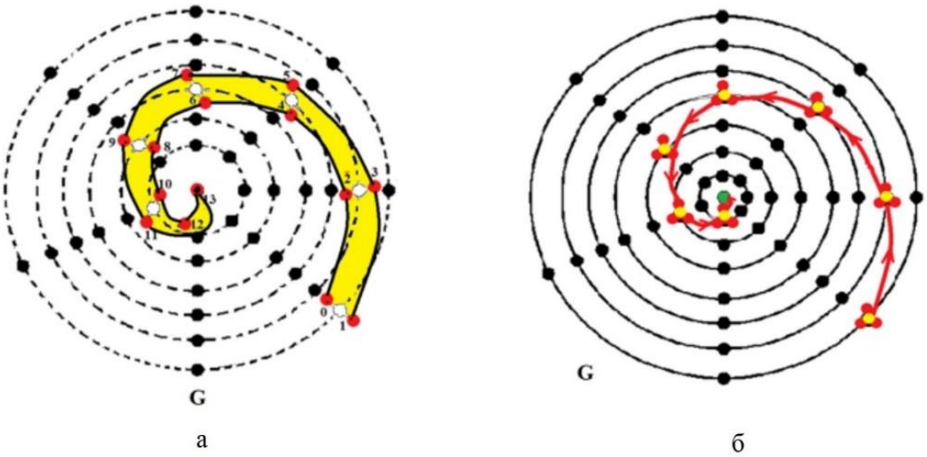


Рис. 54. Два варианта «спирали эволюции» в группах нарушенной симметрии: а – 7 шагов в структуре из 7 × 2 = 14 точек; б – 8 шагов в структуре из 8 × 3 = 24 точки

Еще одна примерная модель развития и взаимодействия двух ветвей «древних деревьев» «архей» и «вирусов» с образованием единого «дерева жизни вирусов» (в микробиологии), представленная возможными этапами преобразований с помощью группы нарушенной симметрии, получена на основе расчетов в компьютерной модели ГНС (таблица 23).

Таблица 23

Расчет ГНС этапов появления единого «дерева жизни микробов»: от g[1] к g[4]

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]
g[1]=(0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 0 15 15 16 17 16 17 21 21 20 20);	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[4]
g[2]=(0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 2 2 2 2 0 0 0 15 15 15 15 17 17 16 16);	g[2]	g[3]	g[4]	g[4]	g[4]
g[3]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 15 15 15 15);	g[3]	g[4]	g[4]	g[4]	g[4]
g[4]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0);	g[4]	g[4]	g[4]	g[4]	g[4]

Визуализация поэтапного развития процесса объединения двух «деревьев» представлена на рисунке 55. В операции g[4] все связи направлены к одной точке множества, названной нами «римской» точкой.

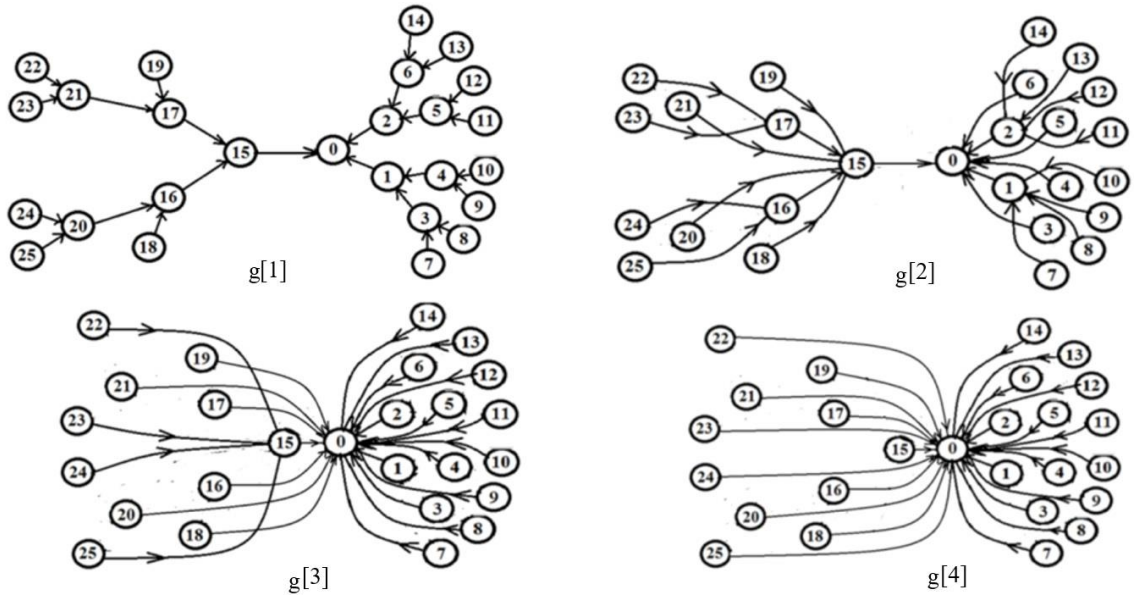


Рис. 55. Визуализация примерного 4-стадийного процесса эволюции в микробиологии

Адекватность предлагаемой модели другим известным моделям в виде «эволюционных деревьев» и «спиралей» эволюции, при относительной простоте расчетов, обосновывающих «рождение» процессов, позволяет сделать вывод о ее «прогностической ценности». Такой подход, по нашему мнению, научно продуктивен.

Таким образом, следует заключить, что для решения некоторых проблем моделирования закономерностей развития микроорганизмов предложено использование аппарата групп нарушенной симметрии (ГНС). Научно обосновано, что при групповых расчетах процессов с нарушенной симметрией размерность и топология пространства не имеют значения, в чем заключается преимущество математической модели ГНС перед другими моделями описания систем.

2.8. Некоторые проблемы теории эволюции на клеточном уровне и принципы симметрии

В представляемом пункте исследования нами не ставится задача дать однозначный ответ на проблемы эволюции органической формы материи.

Много невыясненных проблем остается в теории эволюции на клеточном уровне. Еще недавно считалось, что в эволюции действует лишь один фактор – естественный отбор (основой такого отбора определен фенотип), но в действительности нельзя не учитывать и второй фактор – сложившийся тип структуры и развитие организма, что характеризуется генотипом.

Эволюция имеет направленный и необратимый характер.

Несмотря на то, что в области исследования эволюционных процессов органического мира в последнее время достигнуты определенные успехи, остается множество нерешенных проблем, порождающих следующие вопросы:

1) каким образом природа в свое время «ушла» от «тождественности» элементарных микрообъектов к их усложнению в виде атомных и молекулярных структур;

2) каким образом, пройдя стадии от «функционализации» частиц (на наноуровне) к «адаптации» зародившихся локальных кластерных систем в природе, возникла жизнь (доклеточное и клеточное состояние);

3) что привело к появлению «индивидуальности» и «разнообразия», затем к «инстинкту выживания и потребностям» и, наконец, к рождению «интеллекта» и его «социализации».

Эти и некоторые другие вопросы в понимании эволюции живого еще не до конца решены в науке.

В определенном смысле синтетическая теория эволюции (СТЭ) приближает нас к пониманию определенных математических закономерностей в определении и становлении популяции в качестве минимальной эволюционной единицы. Определяя процесс эволюции биологических популяций, современная наука ставит во главу угла устойчивое изменение генотипа конкретной популяции.

Именно исследование закономерностей структуры и архитектоники спирали ДНК, по нашему предположению, создает реальные предпосылки в моделировании исследуемых процессов эволюции.

Вместе с тем считаем необходимым представить частный случай метода оцифровки известного в научной литературе «дерева жизни» (рисунок 56) и результат умножения преобразований с «римской точкой» на множестве из 33 точек (таблица 24).

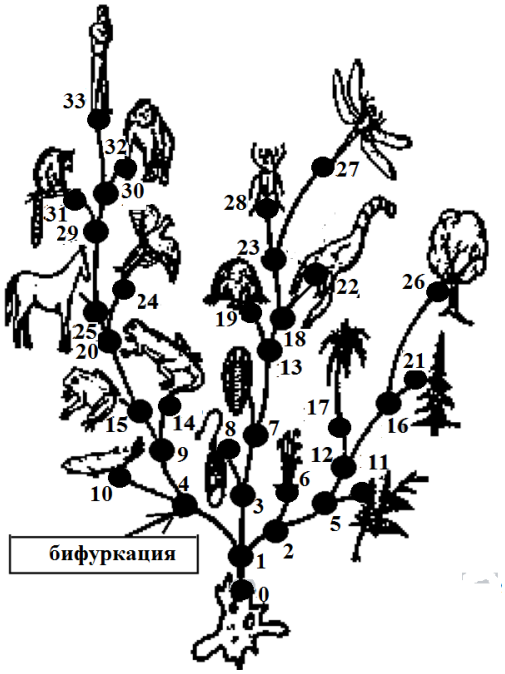


Рис. 56. Дерево жизни и его «оцифровка»

Таблица 24

Результаты умножения преобразований с «римской точкой» на множестве из 33 точек

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33);	g[0] g[1] g[2] g[3] g[4] g[5] g[6] g[7] g[8] g[9] g[10]
g[1]=(0 0 1 1 1 2 2 3 3 4 4 6 6 7 9 9 11 11 13 13 15 16 18 18 20 20 16 23 23 25 29 29 30 32);	g[1] g[2] g[3] g[4] g[5] g[6] g[7] g[8] g[9] g[10] g[10]
g[2]=(0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 2 2 3 4 4 6 6 7 7 9 11 13 13 15 15 11 18 18 20 25 25 29 30);	g[2] g[3] g[4] g[5] g[6] g[7] g[8] g[9] g[10] g[10] g[10]
g[3]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 2 2 3 3 4 6 7 7 9 9 6 13 13 15 20 20 25 29);	g[3] g[4] g[5] g[6] g[7] g[8] g[9] g[10] g[10] g[10] g[10]
g[4]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 2 3 3 4 4 2 7 7 9 15 15 20 20 25);	g[4] g[5] g[6] g[7] g[8] g[9] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10]
g[5]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 3 3 4 9 9 15 20);	g[5] g[6] g[7] g[8] g[9] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10]
g[6]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 4 4 9 15);	g[6] g[7] g[8] g[9] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10]
g[7]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 4 9);	g[7] g[8] g[9] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10]
g[8]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 4);	g[8] g[9] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10]
g[9]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1);	g[9] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10]
g[10]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0);	g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10] g[10]

Как известно из генетики, при физиологических условиях (низкая концентрация соли, высокая степень гидратации) доминирующим структурным типом ДНК является В-форма (основная форма двухцепочечной ДНК - модель Уотсона-Крика) (см. рисунок 57).

Шаг спирали такой молекулы равен 3,4 нм. На виток приходится 10 комплементарных пар в виде скрученных стопок «монет» -

азотистых оснований. Стопки удерживаются водородными связями между двумя противолежащими «монетами» стопок и «обмотаны» двумя лентами фосфодиэфирного остова, закрученными в правую спираль. Плоскости азотистых оснований перпендикулярны оси спирали. Соседние комплементарные пары повернуты друг относительно друга на 36°. Диаметр спирали 20Å, причем пуриновый нуклеотид занимает 12Å, а пиримидиновый – 8Å.

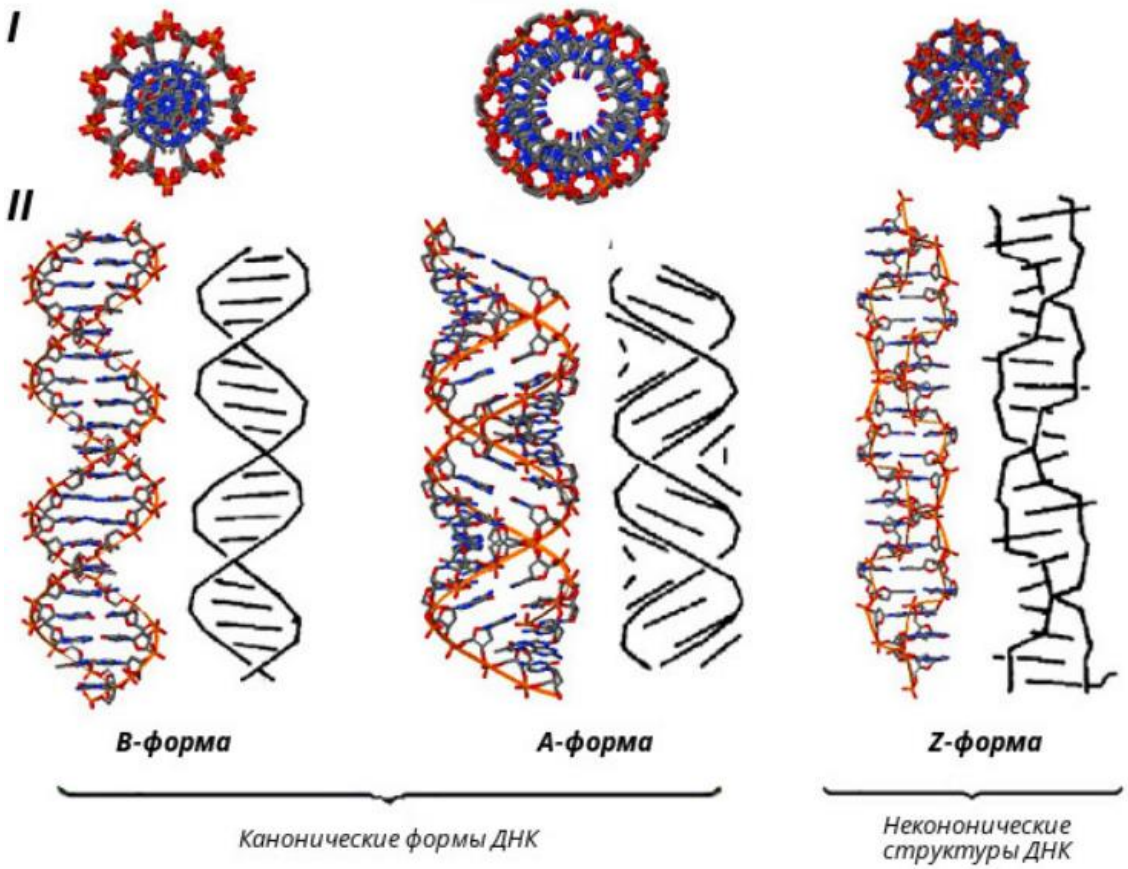


Рис. 57. Формы организации двухцепочечной ДНК: I – вид с торца, II– вид сбоку (черно-белая спираль – упрощенная схема)

Подобная структура соотносится с группой нарушенной симметрии 10-го порядка (B-форма). Таким образом, сделаем предположение, что канонические формы структуры ДНК соответствуют B-форме и A-форме, а неканонические – Z-форме (справа на рисунке 57).

В таблице 25 представлен расчет группы однозаходной канонической спирали ДНК (B-форма).

Таблица 25

Результаты умножения преобразований с «римской точкой» на множестве из 10 точек

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]
g[1]=(1 2 3 4 5 6 7 8 9 9);	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[9]
g[2]=(2 3 4 5 6 7 8 9 9 9);	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[9]	g[9]
g[3]=(3 4 5 6 7 8 9 9 9 9);	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]
g[4]=(4 5 6 7 8 9 9 9 9 9);	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]
g[5]=(5 6 7 8 9 9 9 9 9 9);	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]
g[6]=(6 7 8 9 9 9 9 9 9 9);	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]
g[7]=(7 8 9 9 9 9 9 9 9 9);	g[7]	g[8]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]
g[8]=(8 9 9 9 9 9 9 9 9 9);	g[8]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]
g[9]=(9 9 9 9 9 9 9 9 9 9);	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]

Визуализация процесса преобразований с использованием программного обеспечения и компьютерной обработки приводится на рисунке 58.

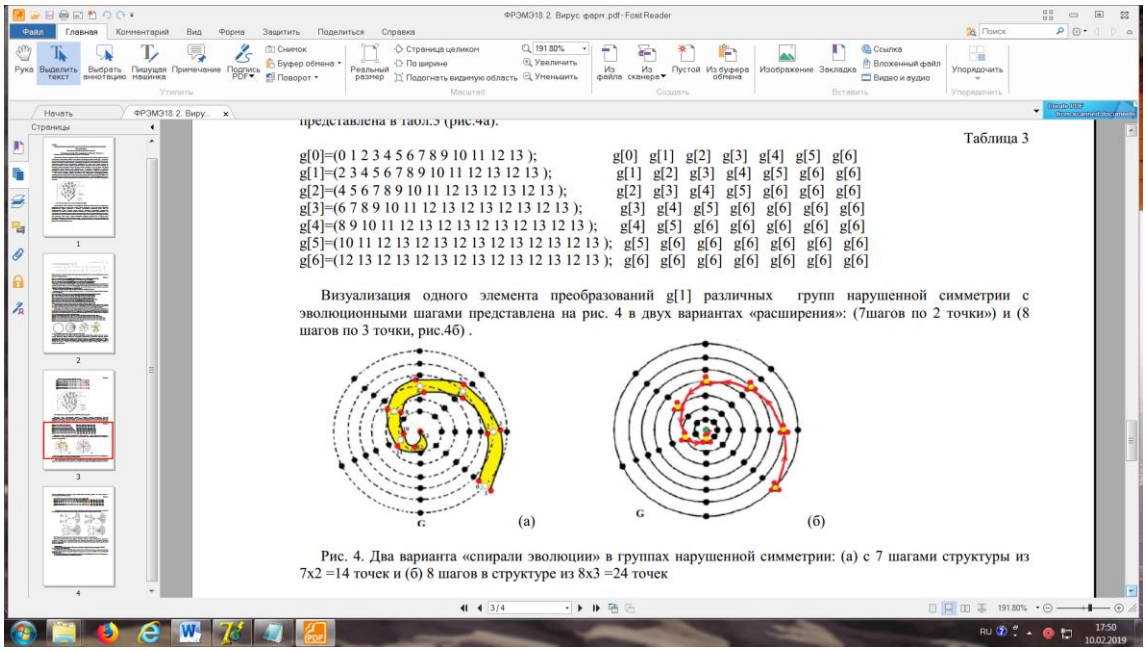
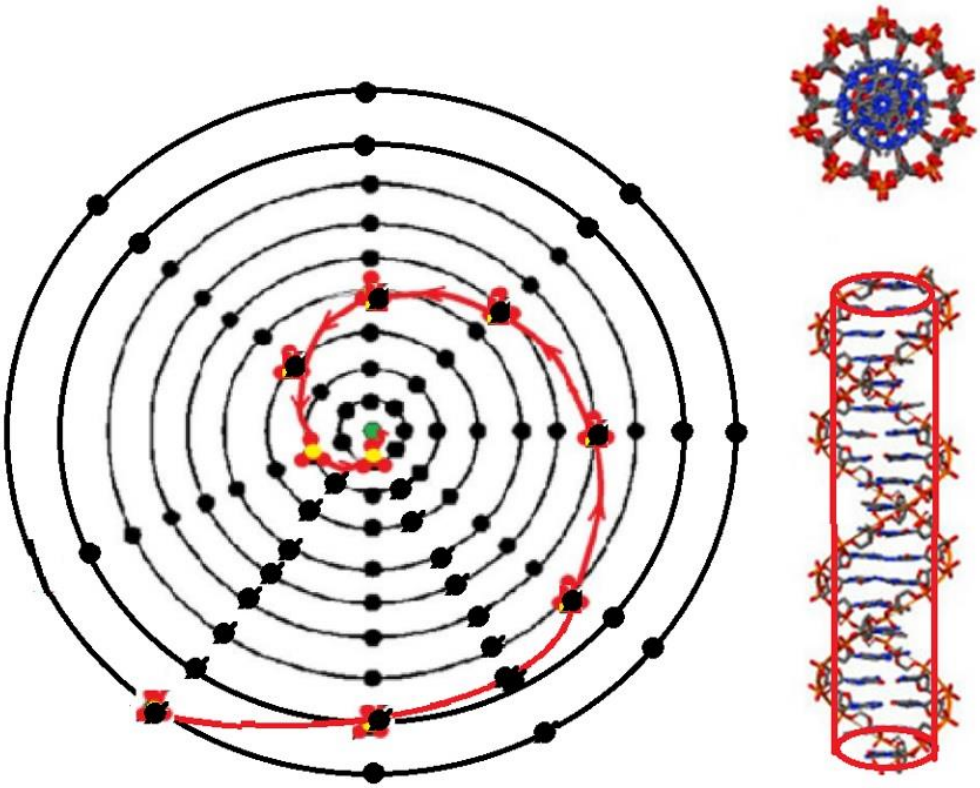


Рис. 58. «Спирали эволюции» в группах нарушенной симметрии

Сопоставляя архитектонику и структуру спирали (винта) ДНК с вариантами визуализации «спиралей эволюции», устанавливаем определенное соответствие отдельных уровней и шагов структуры, что позволяет с высокой долей достоверности соотнести модель спирального представления объекта с самой сущностью спирали (винта) ДНК.

Визуализация нанокластера ДНК с операцией g(1) может быть представлена различными вариантами, выбранными в зависимости от размерности и топологии пространства «визуализации» (рисунок 59).



а б

Рис. 59. Соответствия математического и пространственного представления архитектоники ДНК: а – «коническое пространство возможностей» системы в проекции и «двойная спираль» в этом пространстве; б – «двойная спираль» на поверхности «цилиндрического пространства возможностей» – «нанокластер ДНК»

Используя далее операцию свертки структуры спирали (рисунок 59) с двумя дополнительными точками на каждом этапе, можно записать в 26 для группы из 10 шагов новую нумерацию (в скобках):
0 (0,1); 1(2,3); 2(4,5); 3(6,7); 4(8,9); 5 (10,11); 6(12,13); 7(14,15); 8(16,17); 9(18,19).

Тогда соответствующая таблица ГНС для расчета ДНК (N = 20 : 10 пар нуклеотидов (таблица 26)) будет выглядеть следующим образом.

Таблица 26

Таблица умножения подстановок с нарушенной симметрией на структуре из 20 точек (нуклеотидов)

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]
g[1]=(2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 18 19);	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[9]
g[2]=(4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 18 19 18 19);	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[9]	g[9]
g[3]=(6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 18 19 18 19 18 19);	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]
g[4]=(8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19);	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]
g[5]=(10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19);	g[5]	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]
g[6]=(12 13 14 15 16 17 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19);	g[6]	g[7]	g[8]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]
g[7]=(14 15 16 17 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19);	g[7]	g[8]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]
g[8]=(16 17 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19);	g[8]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]
g[9]=(18 19 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19 18 19);	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]	g[9]

Адекватность предлагаемой модели другим известным моделям в виде «эволюционных деревьев» и «спиралей» эволюции, при относительной простоте расчетов, обосновывающих «рождение» процессов, позволяет сделать вывод о ее «прогностической ценности».

Таким образом, для решения некоторых проблем моделирования закономерностей развития живых организмов предложено использование аппарата групп нарушенной симметрии (ГНС).

Показано, что при групповых расчетах процессов с нарушенной симметрией размерность и топология пространства не имеют значения, в чем заключается преимущество математической модели ГНС перед другими моделями.

Список использованных источников (глава 2)

1. Amol B. Rahane, Mrinalini D. Deshpande, Vijay Kumar. Structural and Electronic Properties of $(Al_2O_3)_n$ Clusters with n = 1 - 10 from First Principles Calculations // American Chemical Society. – 2011. – September 1. – doi.org/10.1021/jp2050614.
2. Рау В. Г., Ломтев Л. А., Рау Т. Ф., Горшков К. А., Никитин О. Р. Компьютерные эксперименты в группах подстановок с нарушенной симметрией // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 3 – С. 43-49. – DOI 10.17513/snt.36614.
3. Koonin E. V. The Logic of Chance. The Nature and Origin of Biological Evolution. – Pearson Education, Inc., 2011. – 516 pp.
4. Rau Valery G., Lomtev Leonty A. and Rau Tamara F. Non-Crystallographic Symmetry in Packing Spaces // Symmetry (USA). – 2013. – № 5. – P. 54-80. – doi:10.3390/sym5010054.
5. Тогунов И. А., Филиппов Р. В., Поляков С. В., Рау В. Г. Прогностическое моделирование эволюционных процессов в

вирусной микробиологии / Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии: труды XIII Международной научно-технической конференции, Владимир-Суздаль, 2018 г. В 2 т. – М.: ООО «Графика», 2018. – Т. 1. – С. 201-204.
6. Zhong Lin Wang. Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2004. – Vol. 16. – No. 25. – P. 829-858.

Глава 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ГРУПП НАРУШЕННОЙ СИММЕТРИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

3.1. Понятие экономического пространства

Экономика является уникальным предметом в том, что речь идет не только о человеческом поведении, но также об использовании сложных математических моделей, описывающих социальные явления.

Молекулярные биологи спрашивают, как зародилась жизнь в первичном супе из аминокислот, а биологи развития пытаются объяснить, как живые организмы приобретают формы посредством деления клеток и морфогенеза. Подобные вопросы формирования паттернов существуют и в экономике. Почему существуют богатые и бедные страны? Почему отрасли кластеризуются? Почему происходят подъемы и спады? Почему некоторые этнические группы недостаточно представлены на определенных рабочих местах или в микрорайонах?

Все это связано с изменениями в симметричности систем. Понятие асимметрии достаточно редко можно встретить как самостоятельное определение. Чаще асимметрия определяется как нарушение или исчезновение симметрии, как нарушение симметрии неких статических форм.

Простая модель может проиллюстрировать роль нарушения симметрии в самоорганизующихся формациях. Рассмотрим экономику с двумя изначально идентичными регионами. Каждый регион имеет одинаковое количество неподвижных факторов, скажем, земли или рабочей силы. Кроме того, существует один мобильный фактор - капитал, распределение которого измеряется вдоль горизонтальной оси (рисунок 60). Две кривые показывают, как нормы прибыли на капитал в двух регионах изменяются в зависимости от распределения капитала.

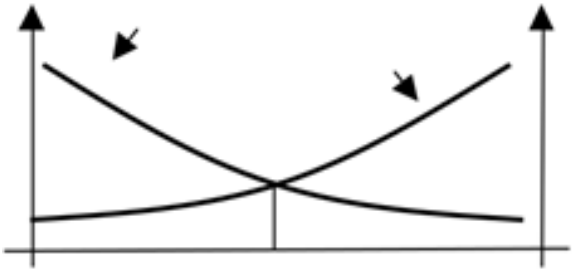


Рис. 60. Влияние фактора капитала в модельной организации

В той степени, в которой капитал вынужден конкурировать за использование неподвижного фактора, норма прибыли на капитал в одном регионе уменьшается, поскольку в этот регион выделяется больше капитала. Поскольку две области по своей сути идентичны, две кривые симметричны относительно средней точки. Когда капитал распределяется равномерно, нормы прибыли в двух регионах уравниваются, и, следовательно, это равновесное распределение. Кроме того, это распределение стабильно: если капитал распределяется неравномерно, регион с меньшим капиталом предлагает более высокую норму прибыли и, следовательно, привлекает капитал из другого региона, и результирующий поток капитала восстановит равновесное распределение. Таким образом, «центробежные силы» ограничения ресурсов не позволяют одному региону привлечь больше капитала, чем другому.

Теперь давайте добавим некоторые агломерационные экономики, чтобы производительность капитала могла быть повышена за счет концентрации. Если «центростремительные силы» агломерационных экономик доминируют над «центробежными силами» ограниченности ресурсов, норма прибыли в одном регионе может возрасти, поскольку в этот регион будет выделено больше капитала, по крайней мере, в определенном диапазоне (рисунок 61).

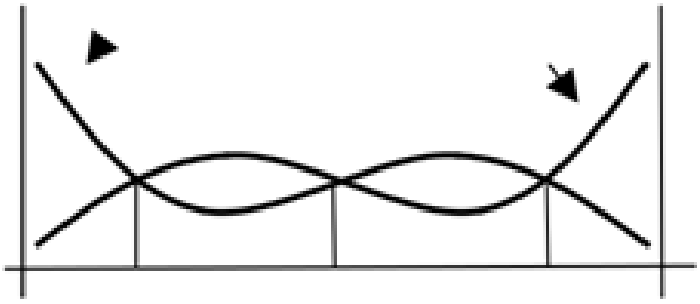


Рис. 61. Двухступенчатая модель влияния фактора капитала

Модель теперь имеет два устойчивых равновесия, и оба предполагают неравномерное пространственное распределение капитала. Равномерное распределение капитала все еще остается равновесным, но нестабильным. Если в одном регионе выделяется чуть более половины капитала, то из-за некоторых небольших исторических происшествий норма прибыли там становится выше и, следовательно, больше потоков капитала из другого региона. Как только этот процесс

начнется, он выходит на самофинансирование, и распределение капитала будет еще дальше от равного разделения. Один регион выступает как развитое ядро, а другой остается как недоразвитая периферия. Модель не говорит, какой из двух асимметричных результатов возникнет, но она говорит, что наблюдаемый результат должен быть асимметричным. Таким образом, потеря стабильности симметричного исхода, «нарушения симметрии», приводит к формированию особых взаимоотношений «ядро-периферия».

Нарушение симметрии имеет целью объяснить формирование паттернов поведения или структурных сдвигов. Напротив, в большинстве вариантов экономического анализа структура экономики рассматривается как данность, что может быть полезным сокращением для многих целей. Например, если мы просто заинтересованы в построении модели, согласующейся с наблюдаемыми закономерностями, мы можем просто утверждать, что регионы не похожи друг на друга и что некоторые регионы имеют больший капитал и производят больше продукции просто потому, что у них более совершенные технологии. Хотя большинство экономистов могут принять это как «объяснение», это просто поднимает другой вопрос в сознании многих. Почему одни регионы более продуктивны, чем другие? На это можно сказать, потому, что рынок работает более эффективно в некоторых регионах, чем в других, или потому, что люди в некоторых регионах более усердны, или потому, что люди в других регионах испытывают недостаток в предпринимательском духе и т.д. Что может вызвать еще один вопрос. Пока мы пытаемся объяснить пространственные вариации в одной переменной, вводя пространственные вариации в другой переменной, этому процессу может не быть конца.

Логика нарушения симметрии не требует какого-либо внешнего источника изменений из-за круговой причинности. В случае, показанном на рисунке 61, не только лучшая технология привлекает больше капитала, но и больший капитал ведет к улучшению технологии благодаря агломерационной экономике. Другими словами, нарушение симметрии объясняет такие вариации исключительно как результат внутренних механизмов системы, то есть самоорганизующимся образом.

Это не означает, что некоторые внешние источники изменений, такие как климат и география, являются несущественными факторами при объяснении образований. Скорее, центральное сообщение о

нарушении симметрии заключается в том, что такие экзогенные вариации не должны быть большими; даже небольшие экзогенные вариации могут быть усилены, чтобы генерировать большие вариации. Короче говоря, маленькая причина может создать большой эффект. После того, как указано, это может показаться очевидным. Тем не менее некоторые экономисты могут искать большие изменения в окружающей среде, пытаясь объяснить большое движение определенной экономической переменной.

Логика нарушения симметрии всегда была центральной в городской и региональной экономике. Нарушение симметрии также дает нам другой взгляд на многие знакомые вопросы в других областях экономики. В международной торговле модели сравнительных преимуществ связаны с межстрановым различием в производительности, но источники различий в производительности часто остаются необъясненными. Если производительность будет улучшаться за счет накопления опыта, между торговлей и технологией возникнет двусторонняя связь. При наличии такой двусторонней причинно-следственной связи большая часть наблюдаемых моделей торговли может возникать эндогенно из-за кумулятивного воздействия небольших исторических происшествий.

В основе асимметрии в региональном социально-экономическом развитии можно выделить следующие компоненты дифференциации, приведенные на рисунке 62.

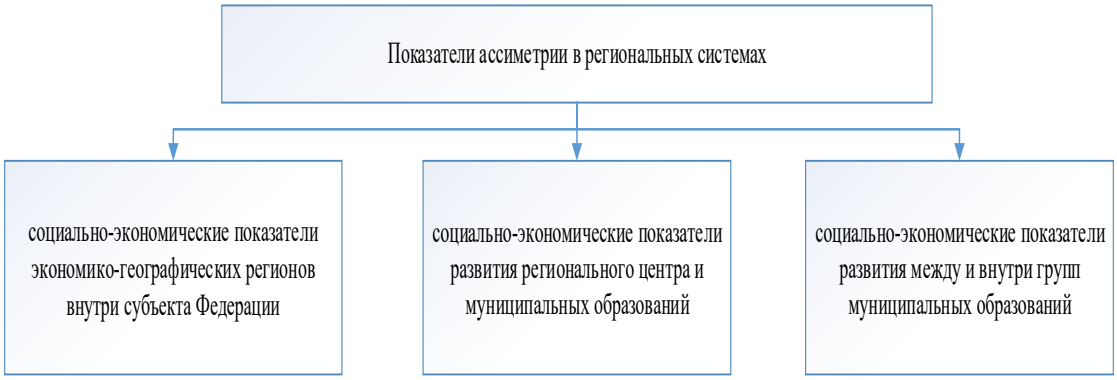


Рис. 62. Показатели асимметрии в региональных системах

В литературе по росту и развитию межстрановые различия в доходах на душу населения часто объясняются разницей в общей производительности факторов производства или разнице в искажении инвестиций, но эти различия часто остаются необъясненными. Но

более низкая производительность или более высокие искажения могут быть не только причиной низкого дохода, но также и низкий доход может быть причиной более низкой производительности или более высоких искажений. При такой двусторонней причинно-следственной связи усиливается трансграничное перемещение товаров или капитала, небольшие внутренние различия между странами, которые делают сбалансированное развитие (пространственную симметрию) нестабильным, и мировая экономика может неизбежно эволюционировать в систему богатых и бедных, где страны разделяются на развитое ядро, характеризующееся высоким уровнем доходов, высоким уровнем производительности, низкими искажениями инвестиций, и слаборазвитую периферию, характеризующуюся низким доходом, низким уровнем производительности, высокими искажениями инвестиций. Если так, то проблема слаборазвитой страны не может рассматриваться изолированно; вместо этого его следует рассматривать как часть взаимосвязанного целого, поскольку богатые могут быть богатыми частично из-за присутствия бедных, а бедные могут быть бедными частично из-за присутствия богатых.

В макроэкономике бум и спады часто объясняются колебаниями производительности труда, и все же почему колебания производительности часто остаются необъясненными. Эндогенизация эффективности производственных систем, либо через инновации, либо через искаженное распределение кредита, могут вызвать нестабильность стационарного пути (временной симметрии), который генерирует временные показатели бумов и спадов, по которым, по-видимому, колебания обусловлены движениями производительности.

Или можно сравнить различные экономические системы. Можно было бы попытаться связать различия в практике рынка труда или финансовой системы в разных странах с различиями в правилах или в национальных культурах. Однако нарушение симметрии предлагает альтернативный взгляд. Из-за некоторой институциональной взаимодополняемости между различными практиками и разными фирмами либо большинство фирм в стране примут эти практики, либо очень немногие фирмы примут их. Только некоторые исторические происшествия делают их более распространенными в одних странах, чем в других. Кроме того, разнообразие таких национальных экономических систем может быть неизбежной особенностью интегрированного мира. Наконец, но не в последнюю очередь,

пространственные и временные изменения в социальном поведении, такие как циклы моды, также могут быть лучше поняты через призму нарушения симметрии.

Таким образом, возникновение асимметрии в развитии экономических систем – есть следствие действия объективных экономических законов, главным из которых является закон стоимости. При этом в современных условиях рыночного хозяйствования асимметрия, прежде всего, связана с реализацией двух наиболее важных функций товарного производства: распределительной и дифференцирующей.

Распределительная функция выступает основой распределения и перераспределения созданной стоимости с помощью ценового механизма, а дифференцирующая функция проявляется в разделении товаропроизводящих экономических агентов по уровню рентабельности, связанной с разными индивидуальными и общественно необходимыми затратами труда. Разрыв между индивидуальными и общественно необходимыми затратами труда определяет размер формируемого рентного дохода и уровень асимметрии в развитии экономических систем.

Асимметрия в развитии экономических систем несёт не только отрицательные, но и положительные моменты. Система может быть симметрична, но неустойчива, а может и наоборот – быть асимметричной, но устойчивой. Появление асимметрии в системе всегда сопровождается появлением новых свойств, переходом системы в другое качественное состояние, связанное с возникновением иерархичности, повышением уровня организованности, связности элементов в системе.

Пример использования этого механизма проиллюстрирован в работе [1] на примере ценовых моделей. В данной модели информационная асимметрия о ценах услуг приводит к формированию локальных монополий: каждый поставщик услуги обладает монопольной властью по отношению к тем неинформированным покупателям, которые посещают его случайным образом. В результате неинформированный покупатель получает товар по более высокой, монопольной, а не конкурентной цене. Более высокая цена товара – это дополнительная плата, взимаемая за неинформированность потребителя. Если на рынке есть информированные и неинформированные покупатели, то выбор стратегии фирмой (какую цену назначить, низкую или высокую) зависит от соотношения

информированных и неинформированных потребителей. Это наиболее важный вывод модели. Если доля информированных потребителей сравнительно велика, то фирма будет осторожна с поднятием цены и предпочтет придерживаться конкурентной цены. Если доля информированных потребителей невелика, то произойдет разделение рынка на сегменты. Некоторые фирмы предпочтут продавать дешево для информированных потребителей. Определенные фирмы будут продавать дорого для неинформированных потребителей, при этом осознанно потеряв информированных клиентов. На рынке установится два равновесия с двумя ценами: для информированных и для неинформированных потребителей. Наличие информационной асимметрии приводит к повышению платы за услугу для неинформированных потребителей.

Вторым важным следствием модели является то, что фирмы заинтересованы в создании и поддержании информационной асимметрии на рынке, поскольку она приводит к повышению среднего уровня цен в отрасли. В связи с тем, что поиск ведется лишь до тех пор, пока выгоды от него больше сопутствующих транзакционных затрат, фирмы заинтересованы в поддержании транзакционных затрат покупателя на поиск на высоком уровне. Высокие транзакционные затраты могут поддерживаться различными способами: повышение числа товарных марок, создание дополнительных характеристик у продукта, что усложняет процесс сравнения и выбора, географическая удаленность точек оказания физической услуги [1].

Некоторая гомогенность элементов экономической системы и её симметричность являются необходимым требованием системности. Но абсолютная гомогенность и абсолютная симметрия являются препятствием для взаимодействия элементов такой системы. Гетерогенность и асимметричность определяют эмерджентные свойства системы, однако абсолютная гетерогенность и абсолютная асимметричность препятствуют объединению элементов в целостную систему.

В условиях инновационных экономических отношений асимметрию структуры создают «центры создания стоимости», обладающие ноу-хау, которые формируют условия притяжения к себе. Подобная структура будет долгосрочно устойчива при отсутствии барьеров к формированию новых «центров создания стоимости», а также при наличии институционального контроля за попытками превращения «центра создания стоимости» в «центр поглощения

стоимости», т. е. возможного перехода в искусственную монополию [2, с. 46].

Наиболее полно этот эффект асимметрии раскрывается в условиях цифровых платформ. Если раньше устойчивое конкурентное преимущество обеспечивалось за счет максимизации масштабов производства, то теперь оно связано с сетевым эффектом связи потребителей с внешними производителями. Этот переход к сетевым бизнес-моделям поднимает новые стратегические вопросы о том, что не следует делать, как с точки зрения того, что производит фирма, так и с точки зрения того, какие навыки и ресурсы ей необходимо использовать для себя. В будущем наиболее успешные компании будут не только с сетевыми цепочками поставок (например, цифровыми распределительными системами), но и с сетевыми кадрами.

Цифровая экономика – программа, направленная на создание экосистемы, в которой данные в цифровой форме являются ключевым фактором производства (утверждена Распоряжением Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р). Цифровая трансформация – это революционные изменения бизнес-моделей на основе использования цифровых платформ, которые приводят к радикальному росту объемов рынка и конкурентоспособности компаний на основе сетевых эффектов [3].

Экономическая сущность работы на таких площадках заключается в том, что компании существенно сокращают трансакционные издержки и уменьшают временной интервал для выведения нового продукта на рынок за счет использования для работы организаций внешних площадок (платформ) и связанных с ними экосистем, не находящихся в собственности организации и не контролируемых ими.

Эффект от платформы заключается в том, что она представляет гораздо больший потенциал для инноваций и роста, чем единая ориентированная на продукт фирма может генерировать в одиночку. Платформы в широком смысле слова являются «строительными блоками» экономики, которые привлекают инвестиции и инновации других компаний для развития дополняющих продуктов и сервисов.

Цифровая платформа как инструмент развития малых форм хозяйствования представляет собой обеспеченную высокими технологиями бизнес-модель, которая создает стоимость, облегчая обмены между двумя или большим числом взаимозависимых групп участников. Капитализация компаний, активно использующих

цифровые платформы, в 2016 году значительно увеличилась по сравнению с 2011 годом, тем самым вытеснив с первых мест таких гигантов как General Electric, Exxon Mobile, Shell и др.

Как показали платформенные компании, такие как Uber и Amazon, в эпоху сетей и повсеместных вычислений для достижения масштаба больше не требуется, чтобы фирмы производили все свои продукты и услуги. Вместо этого они могут получать некоторые или все эти продукты и услуги от третьих лиц. Это позволяет им работать в более широком масштабе, поскольку предложение эластично, и достичь большего качества, поскольку они предлагают потребителям более индивидуальный выбор. Эти модели платформ основаны на сетевых эффектах или эффектах масштаба на стороне спроса, в отличие от эффекта масштаба на стороне предложения. Они возникают не из-за максимизации производства, а из-за облегчения взаимодействия, которое делает платформу более ценной для каждого участника, например, ускорение и удешевление такси. И поскольку сетевые эффекты не подвержены уменьшению, а вместо этого увеличиваются, рынки переходят от наличия нескольких доминирующих игроков к получению победителя.

Сетевые технологии разрушили разрозненные и иерархические потоки информации. Значительные сдвиги в характере работы и характере масштабов происходят на фоне ускоренных изменений, в результате которых продолжительность жизни компаний S & P 500 сократилась в 5 раз с 1930-х годов.

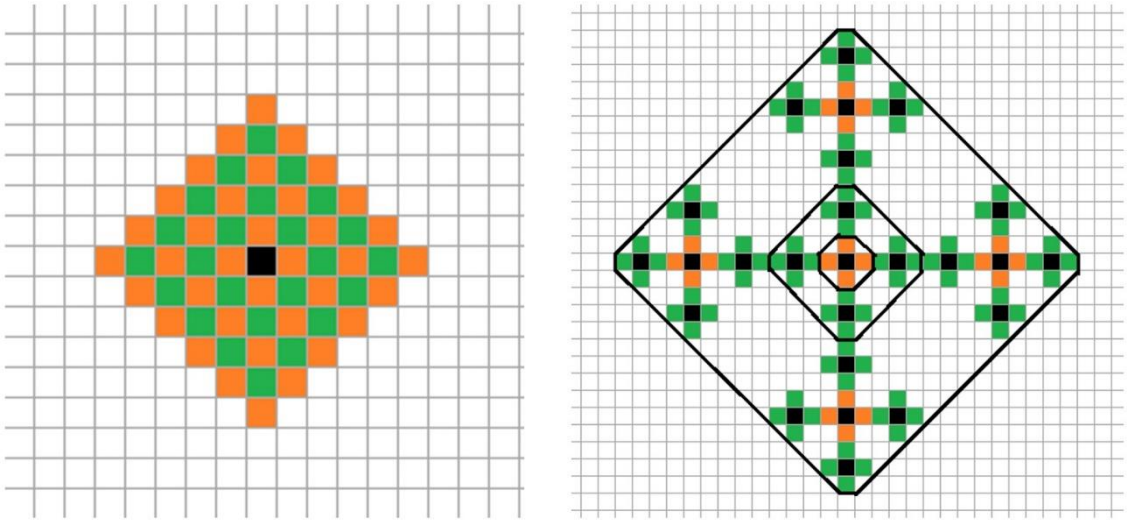
В экономике знаний наличие лучших людей имеет большее значение, чем когда-либо, и установление потоков информации между независимыми, но взаимозависимыми людьми имеет решающее значение для обеспечения их роста. Таким образом, руководство создает искусственные и разрушительные препятствия для быстрого роста, когда они стремятся нанять всех этих людей в своей компании.

Стандартная модель выбора профессии в экономике труда предполагает, что между этническими группами существуют значительные врожденные различия в навыках. Логика нарушения симметрии предполагает, что, если информационные эффекты в процессе приобретения навыков или поиска работы больше в пределах одной и той же этнической группы, даже небольшие первоначальные различия в распределении навыков или некоторые исторические происшествия могут в конечном итоге привести к сортировке разных этнических групп по разным профессиям.

Таким образом, возникновение асимметрии в развитии экономических систем есть следствие действия объективных экономических законов, главным из которых является закон стоимости. При этом в современных условиях рыночного хозяйствования асимметрия, прежде всего, связана с реализацией двух наиболее важных функций товарного производства: распределительной и дифференцирующей, которые реализованы через платформенные решения.

В том случае, когда при переходе от «природных» к социально-экономическим системам (СЭС) в результате их исследования возникает «числовая последовательность», мы также можем предположить, что речь идет о кластерных структурах. В частности, когда биржевая сводка о ценах товаров и услуг на биржах четко указывает на существование закона роста соответствующего экономического параметра (цены), то кластерный подход может позволить структурно визуализировать числовые последовательности. Поэтому подход к экономике как к «числовым последовательностям» позволяет перейти к «визуализации» процессов роста и развития структур социально-экономических систем. Можно привести аналогию с тем, как это делается в нанотехнологии при анализе послойного роста кристаллов, квазикристаллов и атомно-молекулярных кластерных систем. Эти области исследований имеют «общую» кластерную математическую модель ориентированных графов.

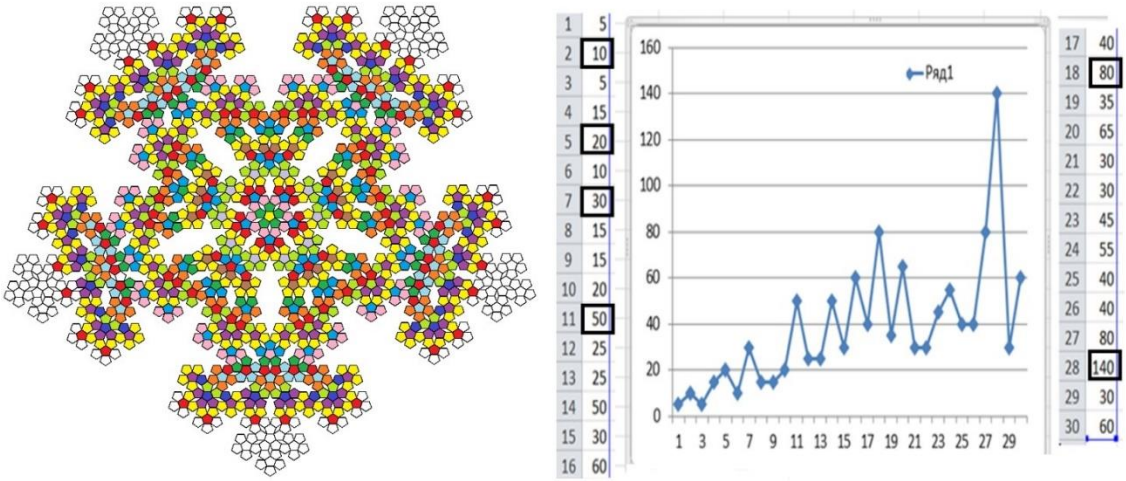
Используя в самом элементарном числовом эксперименте двумерный вариант дискретного (клеточного) пространства (рисунок 63), получаем форму послойного роста фигуры, составленной из отдельных клеток, в виде квадрата (рисунок 63, а). Это позволяет выявить «магические» числа роста (накопления) клеток $N = 4k + 1$, которые легко укладываются в общую линейную формулу накоплений в банке при так называемом «простом проценте»: $y = nx + b$, где $b = 1$ и $n = 4$, а $k = x$. При «сложном» же проценте вклада накоплений в банке $y = ax^0 + ax^1 + ax^2 + \ldots + ax^n$ ($a = 5$, $x = 4$) и возникает степенная форма зависимости накоплений со временем. При этом каждый новый «слой» начинается с фигуры, «выросшей» на предыдущем слое (рисунок 63, б). Визуализация процессов представлена на рисунке 63 в двумерном пространстве накоплений.



а б

Рис. 63. Модели в «клеточном» двумерном пространстве состояний системы: а – линейного закона роста; б – степенного закона роста

Очевидна симметрия процессов роста. Возможности использования процесса накоплений не бесконечны и регулируются юридическими нормами отношений «вкладчика» и «банка». Для двумерных кластеров, построенных на более сложных формах пространства накоплений, фигура роста и числовые последовательности могут «визуализироваться» в виде квазикристаллической мозаики, например, такой формы, которая была рассмотрена нами ранее. Этот усложненный вариант изображен на рисунке 64. Максимумы последовательности соответствуют «числам Фибоначчи».



а б

Рис. 64. Квазикристаллическая мозаика: а – мозаичная «модель» послойного роста; б – максимумы числовой последовательности роста накоплений совпадают с выделенным рядом чисел типа Фибоначчи

Процесс «накопления» ресурсов в пространстве ЭС будет означать переход всей системы из условно выбранного начального состояния на новый уровень с измененными переменными состояния, сохраняя локальные связи. Если переменные меняются дискретно, то совокупность большого числа переходов (за относительно большой промежуток времени) приведет пространство системы к разбиению на отдельные, в общем случае, не выпуклые замкнутые области. Условно выбранные точки – центры областей – задают представленную выше математическую структуру связного роста, называемую графом.

Два основных принципа, которые хорошо себя зарекомендовали в естественных науках, «управляют» процессами роста и развития и в экономике. Это «принцип нарушения симметрии» [2], определяющий начало процессов изменений в системах (по П. Кюри), и «принцип сохранения симметрии», направленный против происходящих изменений (по Ле Шателье).

Принцип П. Кюри – Неймана формулируется следующим образом: «Если определенные причины вызывают соответствующее следствие, то элементы симметрии причин должны проявляться в вызванных ими следствиях. Если в каких-либо явлениях обнаруживается определенная дисимметрия, т. е. недостаточная или нарушенная симметрия, то эта же дисимметрия должна проявляться в следствиях, их породивших»; «Когда различные внешние воздействия или воздействия и явления накладываются друг на друга, образуя единую систему, их симметрии складываются: идет процесс перехода на новый уровень симметрии»; «Это она, диссимметрия, творит явление» (Шубников, Копцик).

Принцип Ле Шателье-Брауна (1884 г.): «Если на систему, находящуюся в устойчивом равновесии, воздействовать извне, изменяя какое-либо из условий равновесия (температура, давление, концентрация, внешнее электромагнитное поле), то в системе усиливаются процессы, направленные в сторону противодействия изменениям. Принцип сохранения симметрии применим к равновесию любой природы».

В микробиологии работа этих принципов объясняет некоторые проблемы эволюционного развития. Для бактерий и вирусов было замечено два факта, которые в самой работе практически не находят

объяснения. Первый факт: система микроорганизмов развивается в геномном пространстве благодаря мутациям, приводящим к разнообразию. Возникают новые деревья эволюции. Факт второй: при образовании между деревьями «горизонтальных связей (ГПГ)» возрастает устойчивость системы. Эти связи микробиологи образно называют «бюрократическими». Замечено, что большое количество ГПГ мешает появлению разнообразия популяции. Вообще говоря, эта же ситуация характерна также для процессов развития и эволюции социально-экономических систем. Наиболее важным для всех систем является вопрос о количестве (процентной доле) связей, оптимально сдерживающих неконтролируемые процессы роста. Другими словами, этот же вопрос, относящийся к государственной системе, звучит так: какая доля связей делает государство устойчивым, но не мешает его развитию. Если считать, что в смысле анализируемых принципов сохранения и нарушения симметрии наиболее устойчивы кристаллы, то наш анализ оценочно дает ответ о 40 % связей, расположенных в слое при росте зародыша кристалла. Фрактальные молекулярные кластерные системы характеризуются, приближенно, наличием до 30 % внутрислоевых связей. Около 20 % горизонтальных связей, которые микробиологи образно называют «бюрократическими». Для социально-экономических систем и бизнес-структур этот вопрос в научном плане не поднимался.

Рассмотрим процессы эволюционного роста кластерных социально-экономических систем в математической модели групп нарушенной симметрии.

Пусть мы имеем фазовое пространство состояний социально-экономической системы, для которой определены основные социально-экономические *характеристики* и *переменные состояния*, выраженные в определенных единицах измерения. Пусть также в этом пространстве могут существовать элементарные производители, объединяющиеся между собой внутренними и внешними связями. Под словом «существовать» будем понимать «иметь определенные величины переменных состояния». Рассмотрим поведение экономической системы, основанной на связях. Наличие внутренней связи между элементарными производителями будет указывать на возможность их объединения в одну *подсистему*, а наличие внешних

связей будет характеризовать локальное взаимодействие подсистем между собой (что, в частности, делается в модели межотраслевого баланса предприятий в классической модели Леонтьева [1] или в модели кластера из государств СНГ, образующих единую систему по 8 экономическим параметрам (рисунок 65) [1]).

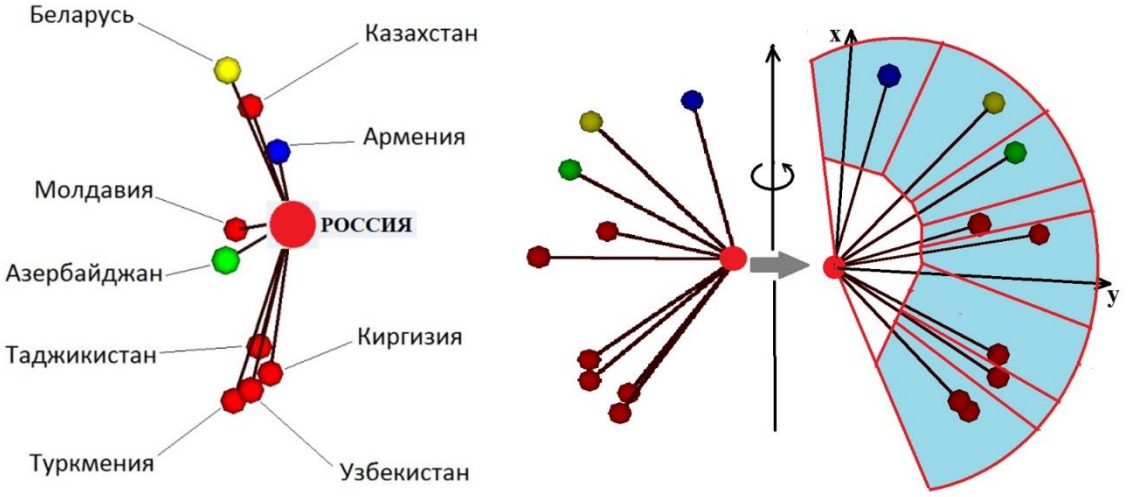


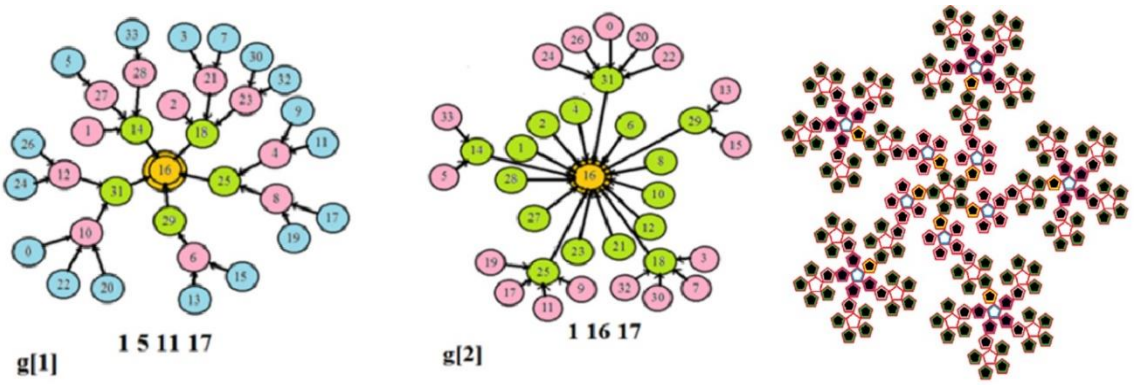
Рис. 65. Страны СНГ в «экономическом пространстве» по расчету в работе [1]

Процесс «накопления» ресурсов в пространстве ЭС будет означать переход всей системы из условно выбранного начального состояния на новый уровень с измененными переменными состояния, сохраняя локальные связи. Если переменные меняются дискретно, то совокупность большого числа переходов (за относительно большой промежуток времени) приведет пространство системы к разбиению на отдельные, в общем случае, невыпуклые замкнутые области. Условно выбранные точки – центры областей и связи между ними – задают представленную выше математическую структуру согласованного роста, называемую графом.

Общие границы между отдельными подсистемами в разбиении выделяют «соседей» выбранной подсистемы, другими словами, количество внешних связей (ребер графа). Таким образом, результат развития системы будет геометрически представлять собой своеобразную расширяющуюся «карту местности» (рисунок 66), на

которую наложен «растущий» из начальной области ориентированный граф.

При решении задач по моделированию эволюционного роста экономических систем на основе групп симметрии и нарушенной симметрии [3] ниже используется разработанная нами программа MATRIX, необходимая для перебора перестановок с заданным числом элементов N и построения разбиения пространства системы на подсистемы [4]. Для каждой подгруппы рассчитывается таблица умножения преобразований и представления операций группы в виде циклов. Составлены алгоритм и подпрограмма «визуализации» каждой операции подстановки в пространстве и разбиение пространства на цветные области [4]. В компьютерном эксперименте из 91 преобразования для группы из N = 34 взаимодействующих производителей (точек) удалось найти два простых принципиально различных варианта поэтапного развития системы. Первый вариант легко визуализируется в виде «эволюционных деревьев» (рисунок 66, а, б), а второй, представленный для простоты только для 8 элементов, изображает «спираль роста» (рисунок 66, в). «Цифровая» экономическая модель, на основе которой произведен анализ развития систем, представлен в таблице 27 (для первого варианта) и таблице 28 (для второго варианта). Распределение ресурсов задано направленными связями между парами точек, что создает в пространстве «ориентированный граф».



а б в

Рис. 66. Выборка из различных преобразований: а и б – по таблице 1, в – рост фрактальной структуры

Таблица 27

Таблица умножения подгруппы преобразований на множестве из 34 элементов

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]
g[1]=(10 14 18 21 25 27 29 21 25 4 31 4 31 6 16 6 16 8 16 8 10 18 10 18 12 16 12 14 14 16 23 16 23 28);	g[1]	g[2]	g[3]	g[3]
g[2]=(31 16 16 18 16 14 16 18 16 25 16 25 16 29 16 29 16 25 16 25 31 16 31 16 31 16 31 16 16 16 18 16 18 14);	g[2]	g[3]	g[3]	g[3]
g[3]=(16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16);	g[3]	g[3]	g[3]	g[3]

Таблица 28

Таблица умножения преобразований на множестве из 8 элементов

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]
g[1]=(1 2 3 4 5 6 7 7);	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[7]
g[2]=(2 3 4 5 6 7 7 7);	g[2]	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[7]	g[7]
g[3]=(3 4 5 6 7 7 7 7);	g[3]	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]
g[4]=(4 5 6 7 7 7 7 7);	g[4]	g[5]	g[6]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]
g[5]=(5 6 7 7 7 7 7 7);	g[5]	g[6]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]
g[6]=(6 7 7 7 7 7 7 7);	g[6]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]
g[7]=(7 7 7 7 7 7 7 7);	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]	g[7]

Последний пример, характеризующий возможности предлагаемой методики расчета групп нарушенной симметрии, демонстрирует процесс взаимодействия двух подсистем элементов: из 15 «точек» и 11 «точек», между которыми устанавливается определенный тип связи. На приведенном рисунке 68 выбрана связь между точками с номерами 15 и 0, на которых сходятся связи в каждой из подсистем точек. Направление связи условно характеризует подчинение. Процесс, рассчитывается поэтапно в таблице 29 и визуализируется на рисунке 67 от операции g(1) к операции g(4).

Таблица 29

Пример модельного описания процессов при взаимодействии систем (4 этапа)

Вариант 1. Есть направленная связь. 15 → 0.

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25); g[0] g[1] g[2] g[3] g[4]
g[1]=(0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 0 15 15 16 17 16 17 21 21 20 20); g[1] g[2] g[3] g[4] g[4]
g[2]=(0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 2 2 2 2 0 0 0 15 15 15 15 17 17 16 16); g[2] g[3] g[4] g[4] g[4]
g[3]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 15 15 15 15); g[3] g[4] g[4] g[4] g[4]
g[4]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0); g[4] g[4] g[4] g[4] g[4]

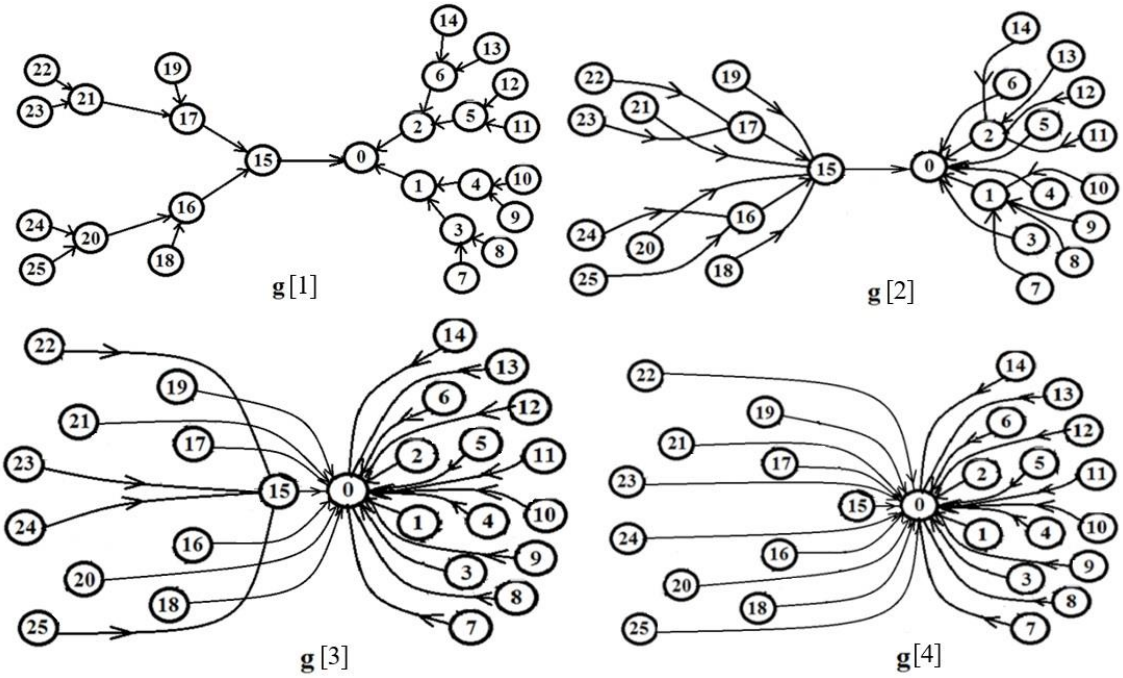


Рис. 67. Проект объединения двух систем в единую систему с общим управлением

Возможны и другие варианты первоначальных связей для выбранных подсистем, контакт между которыми на первом этапе (операция g(1)) осуществляется между теми же точками с номерами 15

и 0. Например, равноправие между ними будет характеризоваться преобразованием 15 ↔ 0 и общая таблица преобразований изменится.

Таким образом, системный подход к анализу экономических структур и процессов на основе расчета групп нарушенной симметрии является прогностическим.

Нарушение симметрии в статистической модели рынка.

При непрерывном нарушении условий устойчивости работы рынка все точки максимумов распределений смещаются и укладываются на «кривую» функции градиентного спуска или подъема.

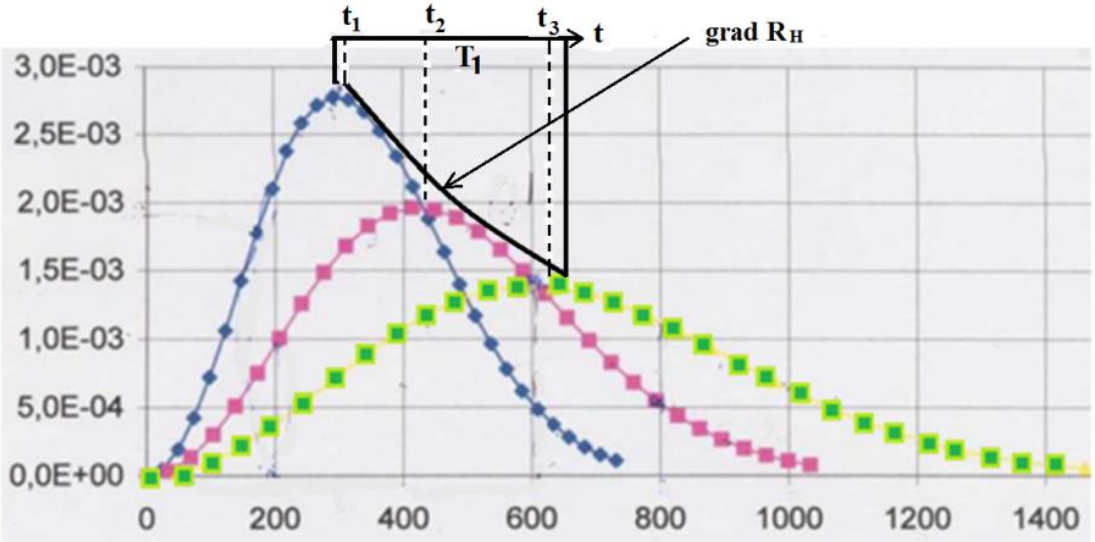


Рис. 68. Графики функции распределения по доходам от продаж при R_H = 300 руб./час, R_H = 400 руб./час и R_H = 600 руб./час с градиентом (сплошная линия)

Исходя из определения функции плотности вероятности, площадь под функцией для каждого из графиков должна сохраняться и нормироваться на единицу (как сумму вероятностей всех событий), то есть обязательно выполняется «условие нормировки» (формула 3.1):

$$\int_0^\infty f(R)dR = 1. \qquad (3.1)$$

Устойчивость основных характеристик каждого из представленных выше распределений сохраняется до тех пор, пока не произойдут изменения, нарушающие общее состояние рынка. При этом, с точки зрения теории, в системе возникнет процесс, то есть начинает «работать» принцип П. Кюри нарушения симметрии. Вид графика распределения меняется.

Затем происходит постепенная адаптация рынка к новым условиям и его стабилизация, определяющая устойчивость, но уже с другими характеристиками. В этом случае говорят, что «работает» принцип сохранения устойчивости, симметрии (принцип Ле Шателье) [8].

Возможные варианты поведения системы рассмотрим ниже и выявим причины «нарушения симметрии».

1. Пусть три распределения, представленные на рисунке 68, характеризуют статистическую информацию, полученную в различные моменты времени с интервалом Δt, равным, например, 2 или 3 годам. Возможным объяснением «перехода» распределения от точки «t_1» к точке «t_2», а затем к точке «t_3», является нарушение равновесия по причине возросшей *«активности»* покупателей. Действительно, в этом случае доля продавцов с большими, чем раньше, доходами должна возрасти, а доля продавцов с меньшими доходами уменьшиться. Поэтому второй график в области больших доходов пойдет над первым, а в области малых доходов – под первым. Так как, по условию нормировки, площадь под графиком нормирована на единицу, максимум функции не может оставаться на том же уровне, и соответствующая вероятность в точке $R_{н2}$ уменьшилась. Экстраполяция процесса во времени (тренд) приводит к градиентной функции, представленной на графике непрерывной кривой, показывающей, что на интервале T_1 идет «возрастание активности» покупателей. Очевидно, что процесс, идущий на таком же интервале T_1, но *в обратную сторону*, будет характеризовать «падение активности» покупателей. Естественно, что отрицательное направление градиента также нарушает устойчивую работу рынка, но мода распределения попадает теперь на малые величины доходов для большой доли продавцов. Такое «нарушение симметрии» может привести к нежелательным социальным последствиям, так как «активность» напрямую связана с денежными ресурсами покупателей.

2. Для районных, городских и других не очень больших продовольственных рынков возможны и другие причины уменьшения

активности покупателей: а) численное переселение людей из одного района в другой, б) транспортные проблемы, в) изменение количества продавцов, г) администрирование и т.д. Но эти причины «явные», их можно конкретно учесть и сделать соответствующие выводы (как правило, на уровне администрации и владельца рынка).

3. В то же время положительный градиент, нарушающий устойчивость работы любого рынка, может иметь и другое толкование: положительный тренд градиентной функции создается макроэкономическими процессами. Цены на товары и услуги растут объективно, при широком освоении новых технологий, которые, в принципе, требуют значительного повышения затрат. В рассматриваемой модели такие «псевдоинфляционные» тенденции приводят к изменению масштабов цен практически на все товары и как следствие к изменению пространственных характеристик графиков распределений по доходам.

Таким образом, графическое представление информации о состоянии рынка, основанное на статистических функциях распределения, может быть дополнено анализом скорости изменения распределения по доходам во времени, а сама градиентная функция может служить индикатором нарушенной симметрии рынка. Вычислим зависимость величины индикатора, который обозначим $I(R_H)$, через распределение по доходам (по «выручке») продавцов.

$$f\left(R_H\right) = 4\pi\left(\frac{1}{R_H^2\pi}\right)^{\frac{3}{2}} R_H^2 \exp\left(-\frac{R_H^2}{R_H^2}\right) \Rightarrow f\left(R_H\right) = \frac{4}{e\sqrt{\pi}}\frac{1}{R_H}. \quad (3.2)$$

Откуда получаем величину индикатора как гиперболическую функцию от характеристики R_H – одной из стабильных точек распределения по доходам:

$$\mathrm{I}(R_H) = \frac{4}{e\sqrt{\pi}}\frac{1}{R_H}. \quad (3.3)$$

Из формулы следует, что произведение $I(R_H) \times R_H = \mathrm{const}$.

Исходя из основных характеристик, представленных в формулах, найдем их численное соотношение: $R_H : R_{ср} : R_{кв} = 1 : 1{,}13 : 1{,}22$. Числовые значения близки друг к другу, и поэтому выбор основной характеристики распределений с точки зрения «реальности» не

принципиален. Гораздо важнее расширить представления, связанные с полученными выше рыночными закономерностями до отношения «богатство – бедность» в крупной социально-экономической системе, включая государство. Геометрическая симметрия гиперболической зависимости произведения доли людей с наиболее часто встречаемым «богатством» (то есть владеющих этим богатством) и величиной самого «богатства» достаточно убедительно характеризует известное в экономике «государств» соотношений Парето 20/80, или 80/20, которые, в данном случае, принадлежат к «симметричным» точкам гиперболы (рисунок 69).

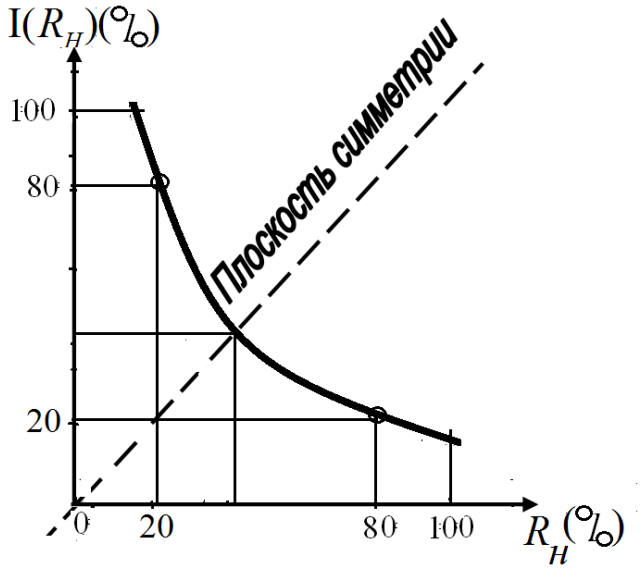


Рис. 69. К «правилу Парето» 20/80

Очевидно, что значительное «расслоение» людей по принципу богатства (например, 10/90 и т. п.) не является фактором стабильности в обществе, и такое нарушение симметрии может порождать нежелательные социальные процессы. По-видимому, исторически соотношения Парето характеризуют оптимальное «расслоение» по принципу «богатые-бедные» в масштабе государства.

Если провести некоторый анализ адекватности полученного распределения по доходам (3.3) с литературными источниками, то, хорошо известны распределения Максвелла – Больцмана для молекул идеального газа (см., например, [6]). При разных температурах газа вид распределения по скоростям и энергии «нарушается» по закону, аналогичному градиентному нарушению симметрии рынка,

рассмотренному выше. Поэтому к рынку можно применять термин «перегретый» рынок и т. п.

Если речь идет в основном о крупном капитале и финансовых рынках, то нарушение симметрии в их работе часто определяется ценовой политикой поставщиков и владельцев рынка, которые сознательно (или иногда подсознательно) выбирают стратегию, связанную с большой степенью риска. Такому иррациональному подходу в последние годы посвящено много исследований с новыми идеями. Среди источников информации на эту тему выделяется книга «Иррациональный оптимизм» (Irrational Exuberance) Роберта Шиллера, который (вместе с Юджином Фамой и Ларсом Питером Хансеном) получил Нобелевскую премию по экономике 2013 года, в основном за идеи, изложенные ранее в этой книге [9]. Речь идет о человеческих реакциях и их иррациональности. И хотя для слова «exuberance» словари чаще дают его основное значение – *изобилие, богатство, достаток, избыток,* но в интернете можно встретить и другие варианты перевода названия, в том числе «иррациональное изобилие». На наш взгляд, можно назвать эту тему исследований «Иррациональные деньги». При этом Роберт Шиллер своей книгой обращает внимание на основную причину неэффективности реальных рынков – иррациональность мышления человека – которая, собственно, является источником нарушения симметрии и приводит к появлению на рынке неэффективных цен, в том числе пузырей и спадов. Конкретно, биржевые пузыри и неадекватные рыночные цены (высокие или низкие), нарушающие симметрию в работе рынков акций, и явились предметом исследования Шиллера.

Список использованных источников (раздел 3.1)

1. Бокарев Ю. П. Виртуально-пространственный подход в экономической компаративистике / История мировой экономики. Вып. 1. Компаративные исследования экономической истории: сборник статей. – М. : Институт экономики РАН, 2012. – С. 109-160.
2. Шубников А. В., Копцик В. А. Симметрия в науке и искусстве. – М. – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2004. – 560 с.
3. Rau V. G., Togunov I. A., Rau T. F., Polyakov S. V. Structure Transformations in Broken Symmetry Groups // Abstraction and Visualization. Symmetry. – 2018. – Vol. 10. – doi:10.3390/sym10100440.

4. Рау В. Г., Ломтев Л. А., Рау Т. Ф., Герасимов К. А. Программа расчета групп симметрии и нарушенной симметрии MATRIX. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2018664999. – М., 2018.
5. Антипов А. А., Аракелян С. М., Кутровская С. В., Кучерик А. О., Рау В. Г., Зимин С. П. Формирование квантовых точек PbTe при лазерном воздействии на полупроводниковый кристалл, помещенный в жидкость // Перспективные материалы. – 2013. – № 14. – С. 304-309.
6. Аракелян С. М., Кучерик А. О., Прокошев В. Г., Рау В. Г., Сергеев А. Г. Введение в фемтонанофотонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов. – М. : Логос, 2015. – 744 с.
7. Региональная экономика: учебник / под ред. В. И. Видянина, М. В. Степанова. – М. : ИНФРА-М, 2005.
8. Тихонюк Н. Е. Использование теории конвергенции как направления развития экономического потенциала в условиях глобализации экономики / Управление инновационным развитием региона: материалы конференции. – Владимир : ВлГУ, 2012.
9. Блауг М. Закон рынков Сэя / Экономическая мысль в ретроспективе = Economic Theory in Retrospect. – М. : Дело, 1994. – С. 136-150. – XVII, 627 с. – ISBN 5-86461-151-4.
10. Бокарев Ю. П. Виртуально-пространственный подход в экономической компаративистике / История мировой экономики. Вып. 1. Компаративные исследования экономической истории: сборник статей. – М. : Институт экономики РАН, 2012. – С. 109-160.
11. Рау В. Г. Основы математики и прикладная статистика в экономике и управлении: учебно-методическое пособие. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2016. – 146 с. – ISBN 978-5-906773-20-3.
12. Рау В. Г., Рау Т. Ф., Малеев А. В. Статистические модели в квантовой физике, экологии и экономике. – М. : Издательский дом Академии естествознания, 2015. – 144 с.
13. Шубников А. В., Копцик В. А. Симметрия в науке и искусстве. – М. : Наука, 1972. – 339 с.
14. Русанов А. И. М. М. Шульц и химическая термодинамика // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4 «Физика. Химия». – 2010. – № 4. – С. 60-65.

15. Рау В. Г., Ломтев Л. А., Рау Т. Ф., Горшков К. А., Никитин О. Р. Компьютерные эксперименты в группах подстановок с нарушенной симметрией // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 3. – С. 43-49. – DOI: 10/17513/snt.36614.
16. Тихонюк Н. Е., Кисляков А. Н. Модель ценообразования однородного рынка с учетом асимметричности информации // Инновационное развитие экономики. – 2019. – № 1. – С. 93-100.
17. Зайцев А. А. Предпосылки государственного регулирования устойчивости аграрных отношений на динамической рентной основе: монография [Электронный ресурс]. URL: https://books.google.ru/books?id=pEA4DwAAQBAJ&lpg=PA1&hl=ru&pg=PA1#v=onepage&q&f=false.
18. Тихонюк Н. Е Платформы в цифровой экономике: основные принципы формирования / Региональная экономика: опыт и проблемы: материалы XII Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. И. Новикова и А. Е. Илларионова. – Владимир, 2019. – С. 120-125.
19. Kiminori Matsuyama Symmetry-Breaking [Электронный ресурс]. URL: http://faculty.wcas.northwestern.edu/~kmatsu/Symmetry-Breaking.pdf.

3.2. Некоторые принципы симметрии социальных систем

В разделе представлены научно-методологические авторские подходы к пониманию формы, содержанию и эволюции социальных организаций в свете структурной симметрии и функциональной асимметрии. Раскрывается роль концептуальной модели организации и ее соответствие условно-абсолютной системе координат.

Социальные организации представляют собой, в определенной степени, высокоупорядоченные структуры, все элементы и характеристики которых находятся в соответствующих закономерных структурно-функциональных взаимосвязях.

Исследования моделей таких организаций вскрыли их структурную симметричность и функциональную асимметрию.

В общем случае симметрия выражает степень упорядоченности какой-либо системы или объекта. Симметрия – это неизменность (инвариантность) формы, свойств и характеристик объекта по отношению к каким-либо преобразованиям (операциям) над ним.

В широком смысле симметрия – это понятие, отображающее существующий в объективной действительности порядок, определенное равновесное состояние, относительную устойчивость, пропорциональность и соразмерность между частями целого.

Симметрия является фундаментальным свойством всех форм движения и организации материи. Современная наука выяснила, что зеркальная симметрия часто отсутствует в природе: Вселенная является ассиметричной на всех уровнях — от субатомного до макроскопического и социального.

Асимметрия является противоположным понятием симметрии и отражает существующее в объективном мире нарушение порядка, равновесия, относительной устойчивости, пропорциональности и соразмерности между отдельными частями целого, связанное с изменением, развитием и организационной перестройкой. Уже отсюда следует, что асимметрия может рассматриваться как источник развития, эволюции, образования нового [4].

Таким образом, симметрия обеспечивает устойчивость организации как системы, а асимметрия (диссимметрия), согласно одному из принципов П. Кюри, – творит явление. Всеобщность принципа Кюри настолько велика, что им можно пользоваться при описании любых природных явлений от микро- до мегамира.

Частным видом нарушения симметрии является зеркальная диссимметрия.

Свойства зеркальной асимметрии называется киральностью, или хиральностью.

Так, в 1848 г. Луи Пастер обнаружил, что химические процессы в живых организмах не обладают зеркальной симметрией: в них доминируют либо левые молекулы, либо правые. Он стал рассматривать зеркальную асимметрию как самое яркое различие между живой и неживой материей, и в конечном итоге провозгласил ее основополагающим принципом природы, значение которого выходит далеко за рамки химии живого вещества.

«Жизнь, каковой она предстает перед нами, – писал Пастер, – является функцией асимметрии Вселенной и следствием этого факта».

Киральность проявляется в различиях между левым и правым. Киральными называют объекты, которые нельзя совместить с их зеркальными отображениями. Вид зеркальной асимметрии, связанный с вращательным моментом, позволяет различать киральность правостороннюю и левостороннюю – |D›- и |L›-формы вращения.

Достаточно глубоко свойство киральности исследовано в физике, химии, биологии. Определенный интерес могут представлять исследования киральности социальных систем. С киральностью связан тот либо иной вид функционирования системы.

Так, в микромире обнаруживается асимметрия левого и правого (рисунок 70).

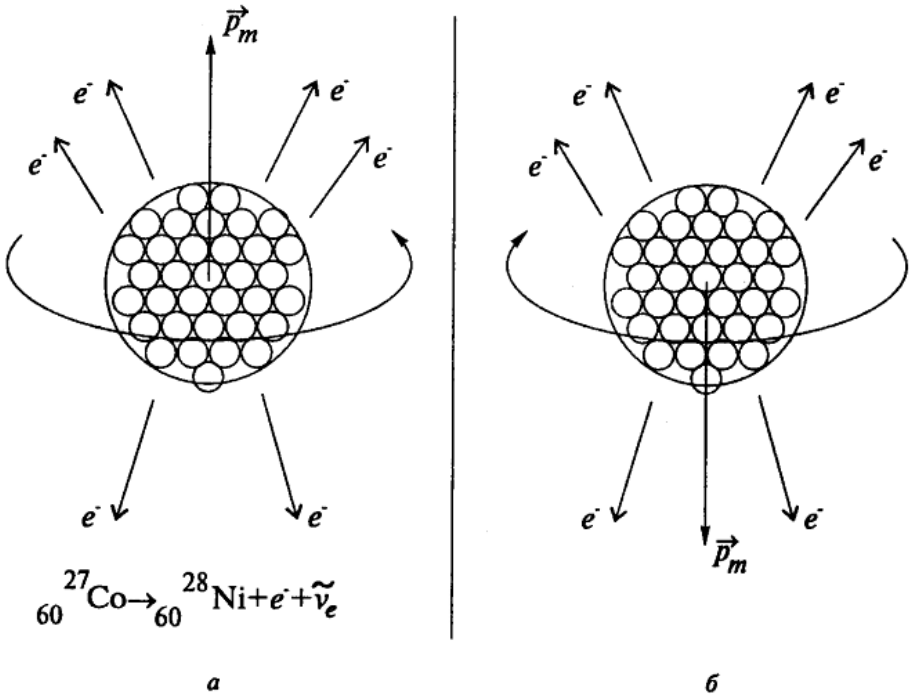


Рис. 70. β-распад Co: а – не наблюдается; б – наблюдается

В биологических организациях «живые» молекулы могут быть только одной ориентации – «левой» или «правой», т.е. здесь говорят о *киральной чистоте живого*. Например, молекула ДНК, как известно, имеет вид спирали, и эта спираль всегда правая. У глюкозы, образующейся в организме – правовращающая форма, у фруктозы – левовращающая.

Следовательно, важнейшая способность живых организмов - создавать кирально чистые молекулы. По современным представлениям именно киральность молекул определяет биохимическую границу между живым и неживым.

В доступных источниках не найдено научных публикаций, в которых были бы представлены обобщающие, глубоко систематизированные результаты исследований свойств симметрии и

асимметрии (в частности киральности) в приложении к организациям социального типа. Вместе с тем отдельные авторы, исследующие проблемы социальных (производственных) систем, вскользь упоминают о некоторых свойствах симметрии и асимметричности как в устройстве этих организаций, так и в их социальных, экономических и прочих составляющих.

Радченко Я. В. [5], исследуя законы социальной организации, которые выражают наиболее общие связи, присущие разным видам социальных систем, определяет специфичность этих законов наряду с прочим тем, что они (эти законы) «обладают исторической симметрией». В теории организации наряду с прочими законами рассматривается закон соответствия и симметрии.

К. Леви-Строс в работе «Структурная антропология» [2], исследуя социальные структуры в Центральной и Восточной Бразилии, отмечает явную симметрию, существующую между поселениями различных племен – шеренте и бороро. У обоих племен поселения имеют форму круга (рисунок 71), они делятся на экзогамные дуальные половины (фратрии), каждая из которых поделена на четыре клана, с мужским домом посередине.

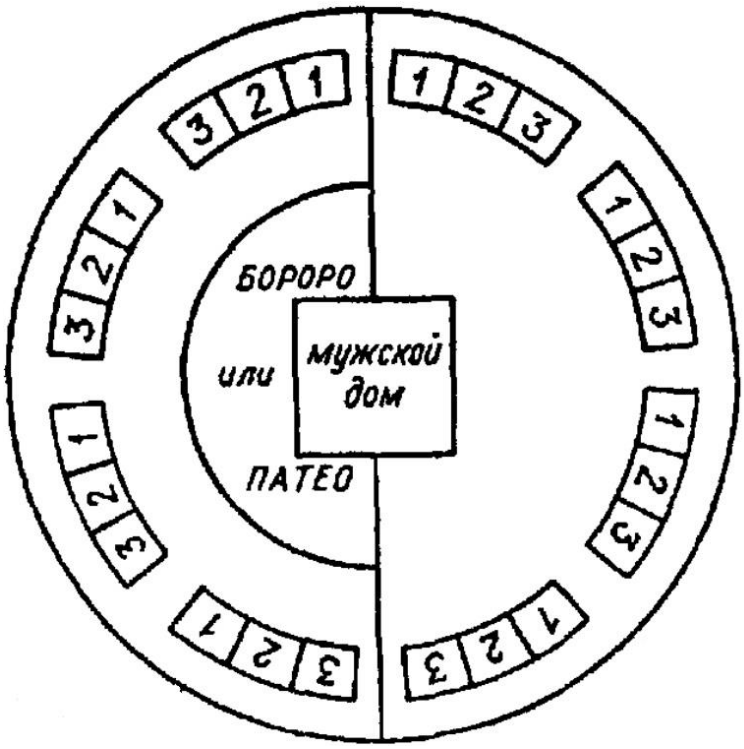


Рис. 71. План селения бороро

Вот что пишет в своих исследованиях В. Малиновски [3]: «Дуальная организация может ясно обнаруживаться в делении племени на две половины; она может быть и совершенно забыта; но я осмеливаюсь предсказать, что везде, где будет произведено тщательное исследование, – в любом диком обществе будет найдена симметрия структуры (symmetry of structure) как необходимый базис взаимных обязательств. Дуально-экзогамное деление есть лишь частный случай общего закона социальной симметрии».

К. Поланьи [1], изучая институциональные модели экономической организации, приходит к заключению, что «эквивалентность и перераспределение способны обеспечить работу экономической системы без помощи каких-либо записей и сложной администрации только за счет того, что организация общества отвечает требованиям такого решения с помощью понятий симметрии и центральности».

Симметрия структуры социума проявляется в формах его организации, например, в формировании симметричных брачных групп на начальном этапе его возникновения. Диктаторская власть более развитых социумов выражает резкую асимметрию формы социосистемы и потому малоустойчива. Демократизация власти, по всей видимости, является формой реализации симметрии.

Наиболее близко своими исследованиями подводит к пониманию симметрии и особенно киральности социальных структур С. Г. Кирдина [6]: «...всё многообразие конкретных особенностей большинства государств, существовавших и существующих на земле, можно при определенном уровне абстракции представить в виде двух идеальных типов, качественно различных институциональных матриц, агрегирующих в себе реальное многообразие социальных связей. Мы назвали их X- и Y-матрицы. Несмотря на кажущуюся упрощенность, мы полагаем, что такое разделение вскрывает глубокие и существенные различия, которые не всегда принимаются во внимание в социально-экономических исследованиях в должной мере».

Необходимо некоторые пояснение, что же понимает автор под категорией «институциональные матрицы» (рисунок 72).

Рис. 72. Схематическое представление институциональной матрицы

Институциональная матрица – объективно существующая исторически сложившаяся система базовых институтов, регулирующих взаимосвязанное функционирование основных общественных подсистем - экономики, политики и идеологии. Институциональная матрица обеспечивает целостность общества и возможности поступательного развития государства при наличных материальных условиях, представляя собой устойчивую форму общественной интеграции. Институциональная матрица лежит в основе меняющихся эмпирических состояний конкретных обществ, она постоянно воспроизводится в ходе исторической эволюции. Существует два типа институциональных матриц - Х-матрица (восточная) и Y-матрица (западная) (рисунок 73).

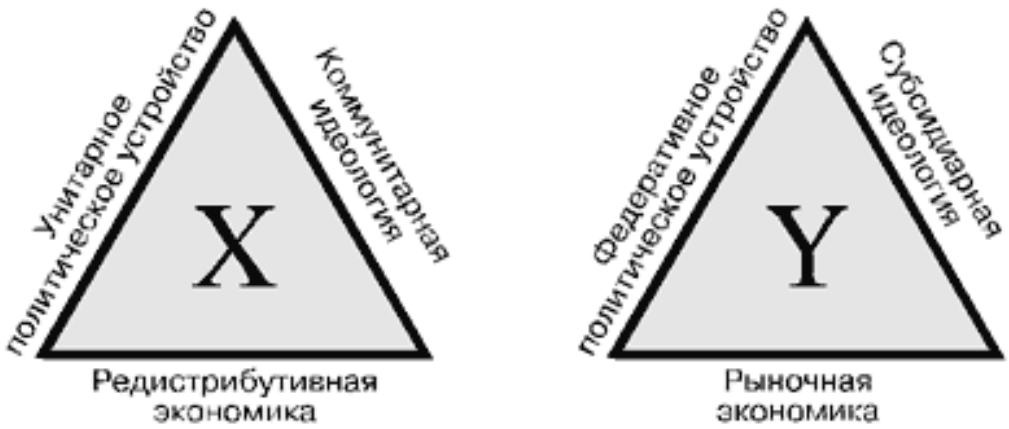


Рис. 73. Различие X- и Y-матриц

Институциональные X- и Y-матрицы, описанные С. Г. Кирдиной, по сути, не являются симметричными в классическом понимании категории «симметрия», а представляют собой не что иное, как формы проявления киральности социальных организаций - левосторонней и правосторонней, т.е. условно могут быть соотнесены с |D›- и |L›-формами вращения.

Правостороннее вращение институциональной матрицы приводит к социальной интеграции типа рыночной экономики, т.е. Y-матрицы (восточной), что соответствует |D›-форме вращения. Левостороннее вращение институциональной матрицы приводит к социальной интеграции типа редистрибутивной экономики, т.е. X-матрицы (западной), что соответствует |L›-форме вращения.

Необходимо подчеркнуть, что первые исследования и догадки о фундаментальной структурной симметрии и функциональной асимметричности социальных организаций относятся к 1997 г. [7]. И были высказаны и оформлены в виде концептуальной модели организации при исследовании социальных структур рыночного типа в здравоохранении.

Использование полученной концептуальной модели организации как своеобразного инструмента позволило провести ряд исследований прикладных социальных организаций. Эти исследования в своем развитии [8] вскрыли определенные закономерности в социальной (производственной) организации – ее универсальную структурно-логическую сущность, симметрию формы и асимметрию содержания (функции).

Условную структурно-логическую модель организации представим диалектическим единством четырёх фрагментов: формы организации (D), содержания организации (B), действительного состояния (сущность) организации (A), возможного состояния организации (C).

Интегрированно взаимосвязь этих четырех характеристик, описывающих мироустройство, представлена следующим образом (рисунок 74).

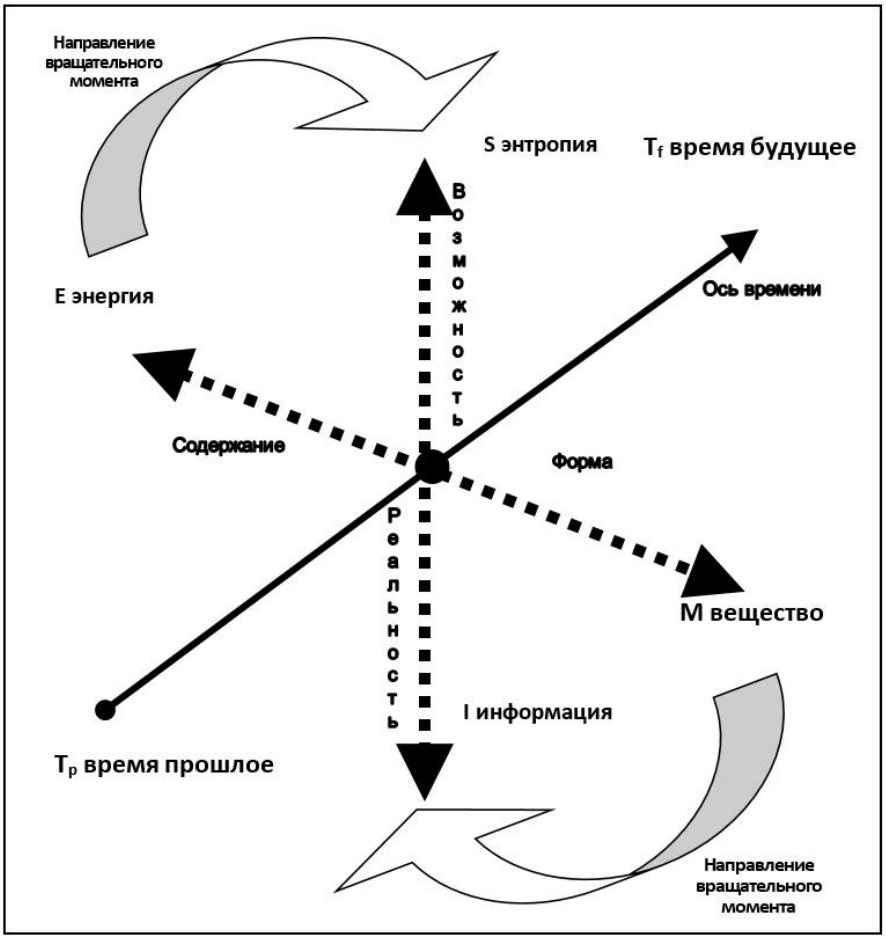


Рис. 74. Координаты соответствия Материи (M) – Энергии (E) – Энтропии (S) – Информации (I) на оси времени (T_p – T_f)

Соответствие точек на рисунке 74 определяет модель, условно названную «Абсолютной системой координат организаций» (АСКО).

Модели прикладных систем, в частности социальных организаций, были обозначены как «Относительные системы координат организации» (ОСКО).

Сравнивая модель системы координат традиционно представляемого в научной литературе жизненного цикла организации с координатами матричной модели организации, находим следующие соответствия:

⇒ *категория (M)-«вещество» условно соотносится с (D) - формой организации;*

⇒ *категория (E)-«энергия» условно соотносится с (B) - содержанием организации;*

⇒ *категория (S)-«энтропия» условно соотносится с (C) - возможным состоянием организации;*

⇒ *категория (I)-«информация» условно соотносится с (A) - действительным состоянием (сущностью) организации.*

Координаты организации являются своеобразным слепком координат системы «материя–энергия–энтропия–информация». Таким образом, в системе ОСКО точки, традиционно представляемые линейной схемой жизненного цикла организации, характеризуется следующим образом (рисунок 75).

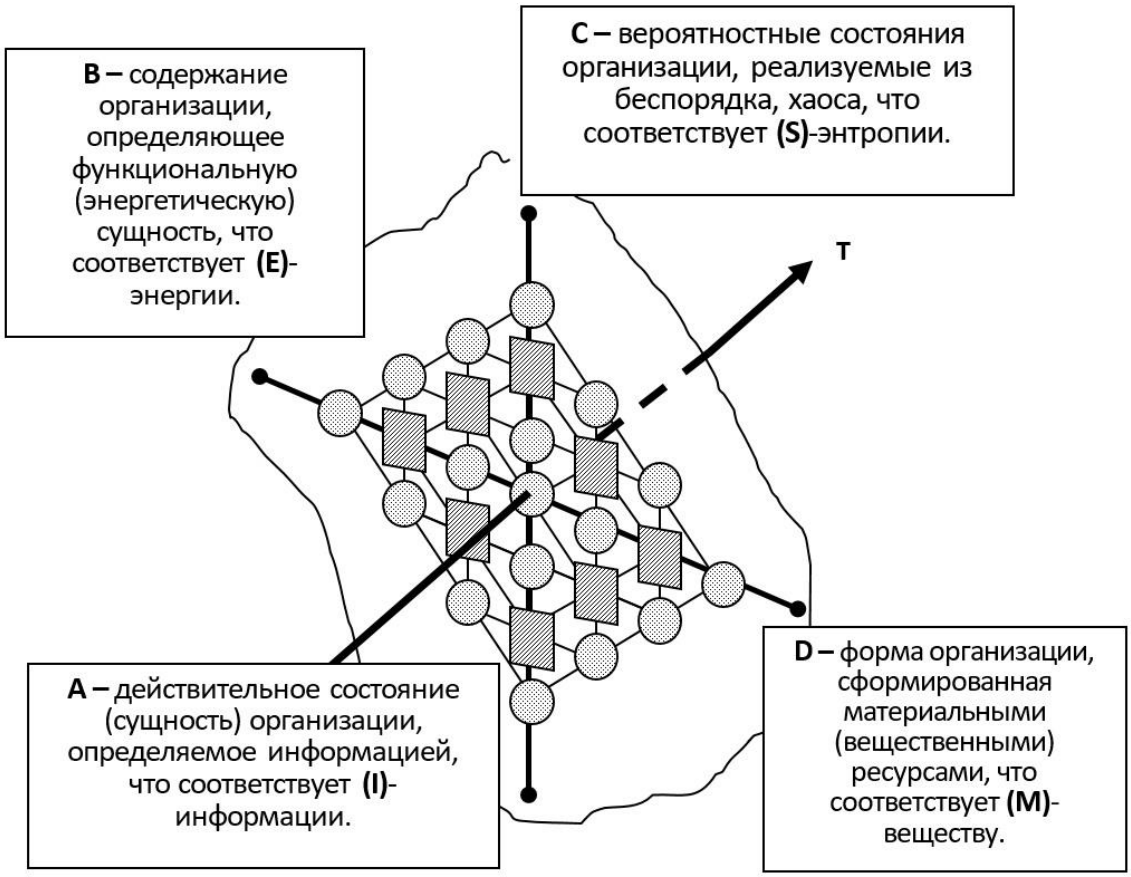


Рис. 75. Модель организации в фазе зрелости своего жизненного цикла

Такое абсолютное совпадение точек АСКО и ОСКО определяет действительное, относительно стабильное существование организации.

Сложение векторов движения определяет винтообразное движение системы с |D›- либо |L›-формами вращения и характеризуется нарушением симметрии. Такое движение организации в ОСКО опосредовало фундаментальность движения основных форм материи в АСКО. Вращательное движение системы в ОСКО может

являться правосторонним либо левосторонним, совпадать либо не совпадать с вращательным движением АСКО.

Именно киральностью (левостороннее или правостороннее вращение) определяется тип и сущность той либо иной социальной организации.

Следует предположить, что эволюция любой системы есть реальное проявление сложных механизмов, связанных с общим устройством и движением пространственно-временного континуума. Механизмы эти обеспечивают выбор из вероятностных состояний таких структур и отношений элементов системы, позволяющих сформировать и закрепить в организации симметричную форму, сохранив функциональную асимметричность или киральность, которыми до определенной степени обеспечивается развитие и функционирование организации.

Именно в этом различии состояний организации, в своеобразном приобретении организацией, закончившей очередной этап своего функционирования, состояния, абсолютно схожего с первоначальной точкой своего предыдущего возникновения, заключен глубокий смысл проявления закона S-образного непрерывного развития организации как системы.

Список использованных источников (раздел 3.2)

1. K. Polanyi. The Great Transformation. – N. Y. : Farrar & Rinehart, Inc., 1944.
2. Lévi-Strauss C. Anthropologie structurale. – P., 1958.
3. Malinowski B. A scientific theory of culture. – N. Y., 1960.
4. Rau V. G., Tjgunov I. A, Pjlyakov S. V., Rau T. F. Structure Transformations in Broken Symmetry Groups – Abstraction and Visualization // Symmetry. – 2018. –№ 10 (10).
5. Радченко Я. В. Знание законов социальной организации - условие результативности политики и управления. / Актуальные проблемы естественных и гуманитарных наук: тезисы докл. юбил. конф. Яросл. гос. ун-та. Общественные науки. – Ярославль, 1995.
6. Кирдина С. Г. Институциональные матрицы и развитие России. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск : ИЭиОПП СО РАН, 2001.

7. Тогунов И. А. Научно-методологические и организационные аспекты интеграции городской поликлиники и формирующейся системы обязательного медицинского страхования: дис. … канд. мед. наук. – М., 1997.
8. Тогунов И. А. Структурно-функциональные модели социальных систем: монография. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2016. – 159 с.

3.3. Экономические циклы как трансляционная симметрия социальных систем

Финансово-экономические кризисы характеризуются нарушением динамического равновесия, в частности между предложением и спросом на товары и услуги, что характеризуется относительно депрессивным процессом в экономической конъюнктуре. В строгом смысле слова – кризис соответствует закономерному процессу резкого перехода конъюнктуры в экономическом цикле от фазы депрессии к фазе быстрого подъема.

Начиная с 2001 года в экономической теории систем появился термин «асимметрия», который потребовал понимания этого феномена как составляющей общего глобального понятия - «симметрия». Тем не менее сама симметрия в экономике давно известна в виде цикличности экономических процессов как «трансляций» во времени. Это: 1) цикл Китчина (2-4 года); 2) цикл Жюгляра (7-11 лет); 3) цикл Кузнеца (15-26 лет); 4) цикл Кондратьева (45-100 лет). Теория циклов технологических революций рассмотрена Даниэлем Шхмиулой и заключается в том, что главные технологические инновации происходят не постоянно, а посредством особых циклов, и временные интервалы этих циклов сокращаются из-за технического прогресса. Период времени с наиболее высокой концентрацией технологических новшеств обозначается «технологической революцией». Период технологической революции (этап инноваций) соотносится с фазой начала экономического роста.

Циклы Кондратьева дробятся на фазы. В соответствии с мнением многих экономистов, эти циклы разбиты на фазы так, что каждая фаза составляет приблизительно 20-30 лет и что относительная правильность чередования повышательных и понижательных фаз «кондратьевских волн» определяется характером группы близлежащих среднесрочных циклов (например циклов Кузнеца). Во время повышательной фазы кондратьевской волны быстрое расширение экономики неизбежно приводит общество к необходимости изменения (вследствие нарушения стабильности, то есть нарушения симметрии). Но возможности изменения общества отстают от требований экономики, поэтому развитие переходит в понижательную В-фазу, в течение которой кризисно-депрессивные явления и трудности заставляют перестраивать экономические и (или) социальные отношения.

Финансово-экономический кризис не представляет собой исключительное явление, свойственное только современности. Кризисами отмечена вся история человеческого общества. Все без исключения социальные системы (и не только они) в своем эволюционном развитии, в целом или на любом из подчиненных структурно-функциональных уровнях, в той либо иной степени, проходят кризисные фазы своего линейно-циклического движения.

Такая сменяемость характеризуется фазовыми переходами из относительно устойчивого состояния системы в неравновесное. Устойчивость обеспечивается определенной степенью симметрии как элементов системы, так и ее функций. Асимметричное состояние формы и содержания системы характеризует неустойчивость системы.

Трансляционную симметрию, проще говоря, динамическую цикличность социальных структур и мировой экономики в целом в определенной степени объясняют циклы Кондратьева, сокращенно называемые К-циклами, или Kondratieff Waves (англ.).

В первоисточнике Н. Д. Конратьева К-цикл представлен состоящим из четырех сезонов, названных в соответствии временам года: весна (Spring), лето (Summer), осень (Autumn) и зима (Winter) (рисунок 76).

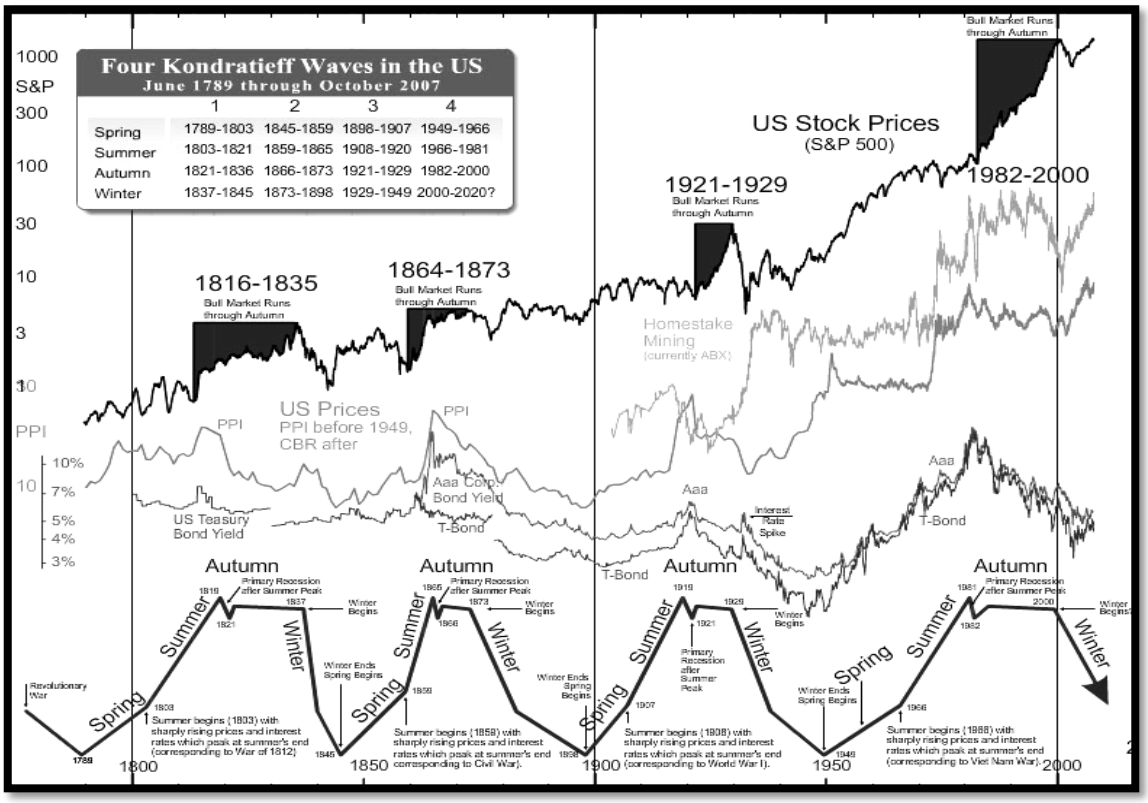


Рис. 76. К-циклы Н. Кондратьева по Яну Гордону

Первые три сезона считаются временами экономической активности – экспансии. Во время весны экономика восстанавливается после разрушительной зимы, заканчивающей К-цикл; летом экономика набирает обороты, так сказать, цветет и пахнет, а осенью, в самую благоприятную фазу цикла, мы собираем богатый урожай. Затем вновь приходит зима и приносит с собой кризис. В среднем полное завершение цикла происходит раз в 48 лет с возможным отклонением от 40 до 60 лет. Циклы состоят из чередующихся периодов относительно высоких и относительно низких темпов экономического роста. Многие экономисты не признают существования таких волн, например, сторонники неоклассической и монетарной школ.

Необходимо отметить, что, несмотря на всю важность вскрытой Н. Д. Кондратьевым цикличности развития социума для задач прогнозирования, его модель (как, впрочем, любая стохастическая модель) всего лишь изучает поведение системы в зафиксированной

(замкнутой) среде. Такие модели не всегда дают ответ на вопросы, связанные с природой самой системы, поведение которой изучается. При этом хорошо известно, что поведение системы является важным аспектом в ее изучении. Однако не менее важны, а быть может, даже наиболее важны аспекты системы, связанные с ее генезисом, структурные (гештальтные) аспекты, аспекты взаимного дополнения логики системы с ее предметом и т.д. Именно они позволяют корректно ставить вопрос о причинах того или иного типа поведения внутренней среды самой системы в диалектической взаимосвязи и зависимости от внешней среды, в которой она функционирует.

К-циклы, открытые Н. Д. Кондратьевым, в этом смысле всего лишь последствие (результат) реакции системы на динамическую сущность внешней среды. Вопрос вскрытия природы процесса такого реагирования и вскрытие факторов, которые влияют на поведение, эволюцию, жизненный цикл систем, сегодня являются крайне актуальным.

Понимание и представление социальной организации на основе фрактально-фасеточных моделей, исследование жизненного цикла организации как динамической линейно-вращательной сущности приближают исследователей к установлению логики происхождения и закономерностей циклического функционирования социальных, в том числе экономических, систем.

Динамика эволюции самой организации (ее внутренней среды) находится в диалектическом единстве с внешней средой. Внутренняя и внешняя среды организации характеризуются некими координатами высшего порядка. Трансляционная симметрия системы обеспечивается соотношением поступательного движения («стрела времени») и вращательного (правосторонний и левосторонний спин) при котором происходит сменяемость фаз эволюции системы (рис. 77).

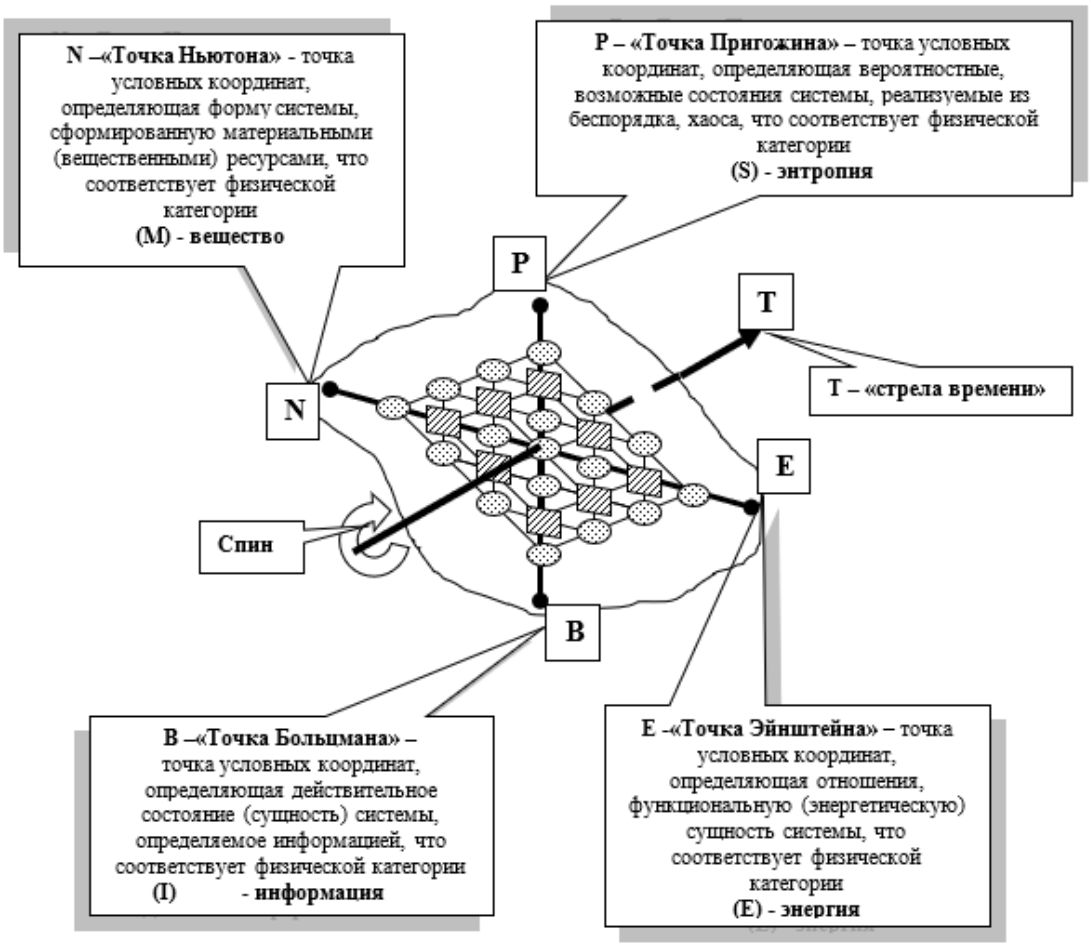


Рис. 77. Система координат внешней среды организации

Именно соотношение определенных координат внешней и внутренней сред системы, естественная динамика вариантов их условно фиксированных соответствий/несоответствий при гипотетическом поступательно-вращательном движении как самой системы, так и ее внешней среды, и есть суть фаз трансляционной симметрии и цикличности, характеризующих то либо иное реальное состояние организации, в частности социально-экономической.

Проводя соответствие между К-циклом и установленными точками координат как внешней, так и внутренней сред организации, удается вскрыть суть сезонности К-цикла Кондратьева. Так, точки экспансии (экономической активности) соотносятся с точками, характеризующими в организации структуру («N – точка Ньютона»), отношения («E – точка Эйнштейна») и реальную сущность системы («B – точка Больцмана»). Кризисные состояния системы по Кондратьеву связаны с фазой цикла, условно определенной как «зима». Эта фаза в системе координат характеризуется своим соответствием

вероятностному (энтропийному) состоянию системы («Р – точка Пригожина»).

Социальные системы (как и прочие) по сложности своей являются не однозначно цикличными и, по всей вероятности, характеризуются множеством соподчиненных циклов.

Опираясь на теорию фрактально-фасеточной сущности организаций, используя модели таких систем в качестве своеобразного инструмента, представляется возможным выдвинуть гипотезу о наличии определенного множества вложенных циклов, характеризующих эволюцию социальных структур.

Можно предположить, что наряду с четырехфазным (первого порядка) К-циклом, условно названным мной «большим циклом», который характеризует по Н. Д. Кондратьеву четыре основные фазы экономического развития, существуют циклы низших порядков. Так, известны малые циклы Джозефа Китчина (1861-1932), С. Кузнеца (1901-1985) и др. Средняя длительность циклов Китчина равна 40 месяцам при умеренной амплитуде между двумя четко проявившимися последовательными «большими» кризисами. В экономической теории представлена определенная классификация и периодичность циклов. Однако ограничимся лишь перечислением основных теорий экономического (делового) цикла:

• *теории внешних факторов;*

• *теория Троцкого и современных «неомарксистов»;*

• *монетарная теория;*

• *теория перенакопления;*

• *теория недопотребления;*

• *марксистская теория цикла;*

• *неоклассики и неокейнсианцы о механизме циклических колебаний;*

• *кейнсианская концепция цикла;*

• *неоклассическая концепция цикла.*

Опираясь на интегрированную модель организации, используя логику структурно-функционального и пространственного понимания жизненного цикла организации как системы, удается доказать, что динамическому развитию организации кроме установленных циклов присущи: 12-фазный цикл, характеризующий переходные состояния фазовых точек К-цикла Кондратьева; вложенные 8-фазный цикл, 4-фазный цикл второго порядка и др. Последний характеризует

активность и инерцию системы, а также дает представление о цикличности внешней управляемости и самоуправляемости системы.

Современный финансово-экономический кризис, при всех равных причинах, связан с прохождением социумом одной из фаз К-цикла, фазы, характеризующей действительное состояние системы. В этой фазе структурная сущность системы совпадает с условной точкой Пригожина, характеризующей фазовое состояние внешней среды. Подобное фазовое соотношение определяет в системе относительно высокий уровень энтропии (степень беспорядка системы). В этой фазе крайне обостряются противоречия финансово-экономических отношений со структурной формообразующей сущностью системы. Возникает дисбаланс соотношения между потреблением и инвестициями. Это и есть суть кризиса. Система становится крайне неустойчивой, но вместе с тем открытой в поле вероятностного выбора перехода к определенной относительно стабильной своей сущности. Такой переход может быть обеспечен двумя путями.

Первое направление – преимущественно внешнее управление, т.е. выход системы из кризисного состояния обеспечивается перестройкой ее структуры, ее формообразующих составляющих. Второе направление – синергетическое, т.е. система перестраивается сущностью своих отношений. При реализации первого направления внутренние отношения, характеризующие систему (в нашем случае финансово-экономические), имеют высокую степень энтропии, т.е. хаотичны по своей сущности, тем самым усугубляя кризисное состояние системы, но уже в новой фазе ее циклического развития.

Список использованных источников (раздел 3.3)

1. Акаев А. А. Современный финансово-экономический кризис в свете теории кондратьевских циклов [Электронный ресурс]. URL: http://cliodynamics.ru.
2. Бернар И., Колли Ж.-К. Толковый экономический и финансовый словарь: В 2 т. / пер. с фр. – М. : Междунар. отношения, 1994.
3. Суслов И. В. Мировой финансовый кризис: циклы Кондратьева (К-циклы) [Электронный ресурс]. URL: http://igorsychov.blogspot.com/2008/12/blog-post_12.html.
4. Тогунов И. А. Новое в теории организации: фрактально-фасеточные модели: монография. – Владимир : Собор, 2009.
5. Циклы Кондратьева [Электронный ресурс]. URL: http://cliodynamics.ru.

3.4. Симметрия в маркетинговых системах

Структурная и функциональная зависимость элементов маркетинговой системы представляется некими условными моделями маркетинговой системы. Найденное соотношение элементов системы маркетинга позволило выбрать условный архитектонический вариант одной из таких моделей в виде прямоугольной решетки, состоящей из девяти ромбовидных фрагментов, в каждом из которых проведены диагонали. Пересечение прямых, составляющих решетку модели, условно обозначим буквами латинского алфавита от A до Y (рисунок 78).

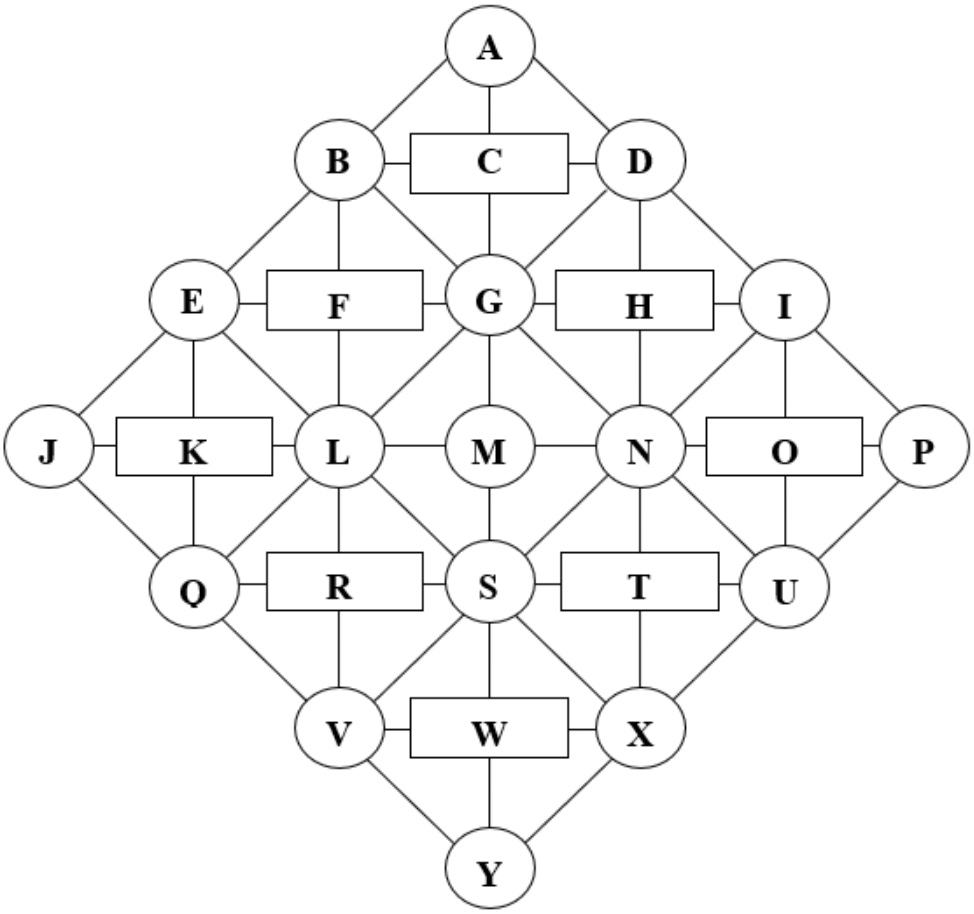


Рис. 78. Архитектоника модели системы маркетинга

С целью описания и исследования модели в ее решетке (архитектонике) выделим условные конфигурации связей элементов в виде треугольников, квадратов, ромбов, диагоналей, крестов и других ассоциаций, а также введем понятийный аппарат этих образований.

<u>Понятийный аппарат, используемый при изучении модели</u>

А. Структурные элементы и ассоциации элементов модели.

1. Решетка модели – архитектоника, условная структура расположения элементов в модели.

2. Элемент – составляющая структурная единица в модели; различают два вида элементов: категория и предикат.

3. Категория – фундаментальный элемент, объекты и субъекты маркетинговой системы.

4. Предикат – характеристика состояния и действия субъектов маркетинговой системы, связывающая фундаментальные элементы.

5. Триада – логическая связка категорий и предикатов в виде условных треугольников.

6. Кварт – логические связки категорий и предикатов в виде условных квадратов.

7. Ромб – логическая связка четырех категорий и одного центрального предиката в виде ромбовидной фигуры.

8. Крест – логическая центрально-симметричная связка пяти категорий.

9. Диагональ – логическая линейная связка четырех категорий либо трех предикатов.

Б. Связи категорий и предикатов модели.

1. Прямая связь – логическая связка двух рядом стоящих категорий (категория-категория).

2. Косвенная связь – логическая связка двух рядом стоящих категорий посредством предиката (категория-предикат-категория).

3. Опосредованная связь – другие виды логических связок категорий и предикатов, не относящиеся к прямой и косвенной связям.

Структура модели маркетинговой системы

На пересечении вершин ромбов соответствующим закономерным образом расположим элементы маркетинговой системы, условно поименованные категориями и обозначенные кругом.

Пересечение диагоналей каждого ромба условно соответствует характеристикам соотношений и действий, присущих рыночным отношениям. Данные элементы модели схематически обозначаются прямоугольниками и условно именуются предикатами.

Предикаты расположены в девяти точках: C, F, H, K, M, O, R, T, W. В них отображены понятия маркетинга: нужда, потребность, предложение, благосостояние, сделка, квалификация, спрос, деятельность, удовлетворение.

Во всех остальных шестнадцати точках располагаются категории. К ним отнесены: а) субъекты маркетинговой системы: потребитель и производитель; б) объекты маркетинговой системы: фактор внешней среды, образ товара, стандарт, экономическая группа, потребительская группа, профессиональная группа, платежеспособность, заработная плата, стоимость товара, случай обслуживания, расценка труда, единица товара, единица труда, эффективность.

В решетке модели обозначены следующие уровни:

- система горизонталей, вертикалей и диагоналей; различают семь вертикалей, семь горизонталей, четыре основные левые диагонали, три вспомогательные левые диагонали, четыре основные правые диагонали, три вспомогательные правые диагонали;
- система триад: большие триады (горизонтальные – вершины треугольников обращены вверх либо вниз и вертикальные – вершины треугольников обращены вправо либо влево), средние триады первого порядка, средние триады второго порядка, малые триады и микро-триады;
- система квартов: большие и малые кварты, центральный кварт;
- система ромбов: малые и большие ромбы;
- система четырех крестов.

Исследование структуры модели

Модель системы маркетинга представляет собой логическую закономерно-универсальную связь элементов и понятий, которыми характеризуется вид человеческой деятельности, направленный на удовлетворение нужд и потребностей посредством обмена.

Социальные взаимоотношения в поле рынка в прикладном плане формируют некую объективно существующую систему, в которой соотношение условных элементов, характеризующих определенную сущность и действие, определяется бесконечным сочетанием взаимосвязей этих элементов. Вид этих соотношений в принципе может быть линейным и замкнутым, простым и сложным, прямым и опосредованным.

Сделанное научное обоснование модели системы маркетинга позволяет предположить, что фундаментальные характеристики, отображающие и характеризующие человеческую деятельность на рынке товаров и/или услуг, находятся в линейно-замкнутой

зависимости друг от друга и формируют относительно закрытую саморегулирующуюся структуру (рисунок 79).

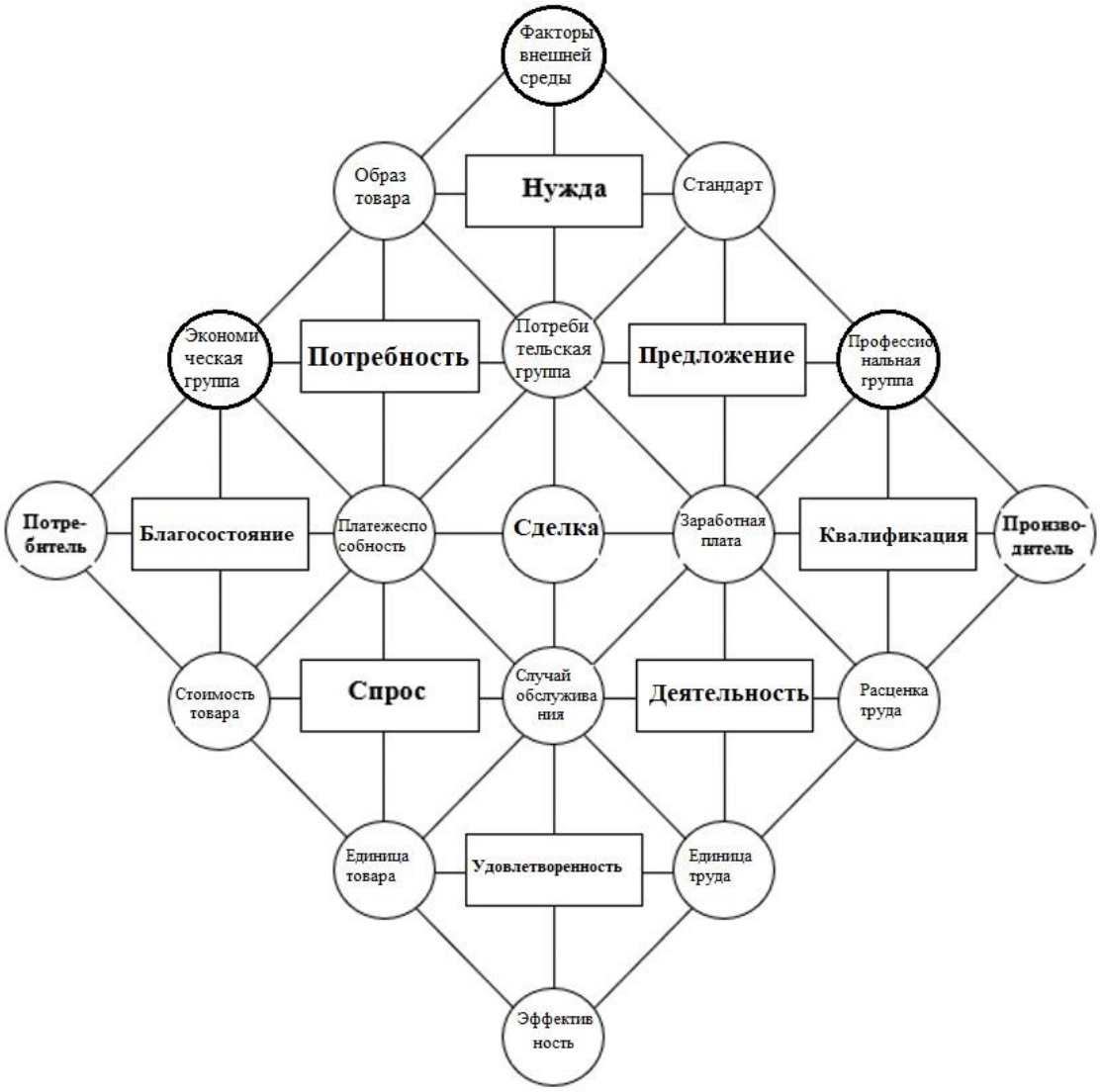


Рис. 79. Модель системы маркетинга товаров

Сфера услуг является специфической и своеобразной отраслью социальных структур. Под услугами отдельные исследователи понимают разнообразие видов человеческой деятельности и коммерческие занятия. Маркетинг услуг представляет собой процесс разработки, продвижения и реализации услуг, ориентированный на выявление специфических потребностей клиентов.

Рынок услуг отличен от рынка товаров и характеризуется определенной специфичностью. Услуге присущи такие характеристики, как неосязаемость, неотделимость от источника, непостоянство качества, несохраняемость. Эти объективные

характеристики предопределяют специфику сделки и ее взаимосвязей в модели маркетинговой системы.

Специфическое расположение элементов в архитектонике модели маркетинга характеризует такую модель как маркетинговую систему товаров либо маркетинговую систему услуг.

В соответствии с вскрытыми особенностями модель маркетинговой системы услуг представлена на рисунке 80, где специфически расположенные элементы тонированы.

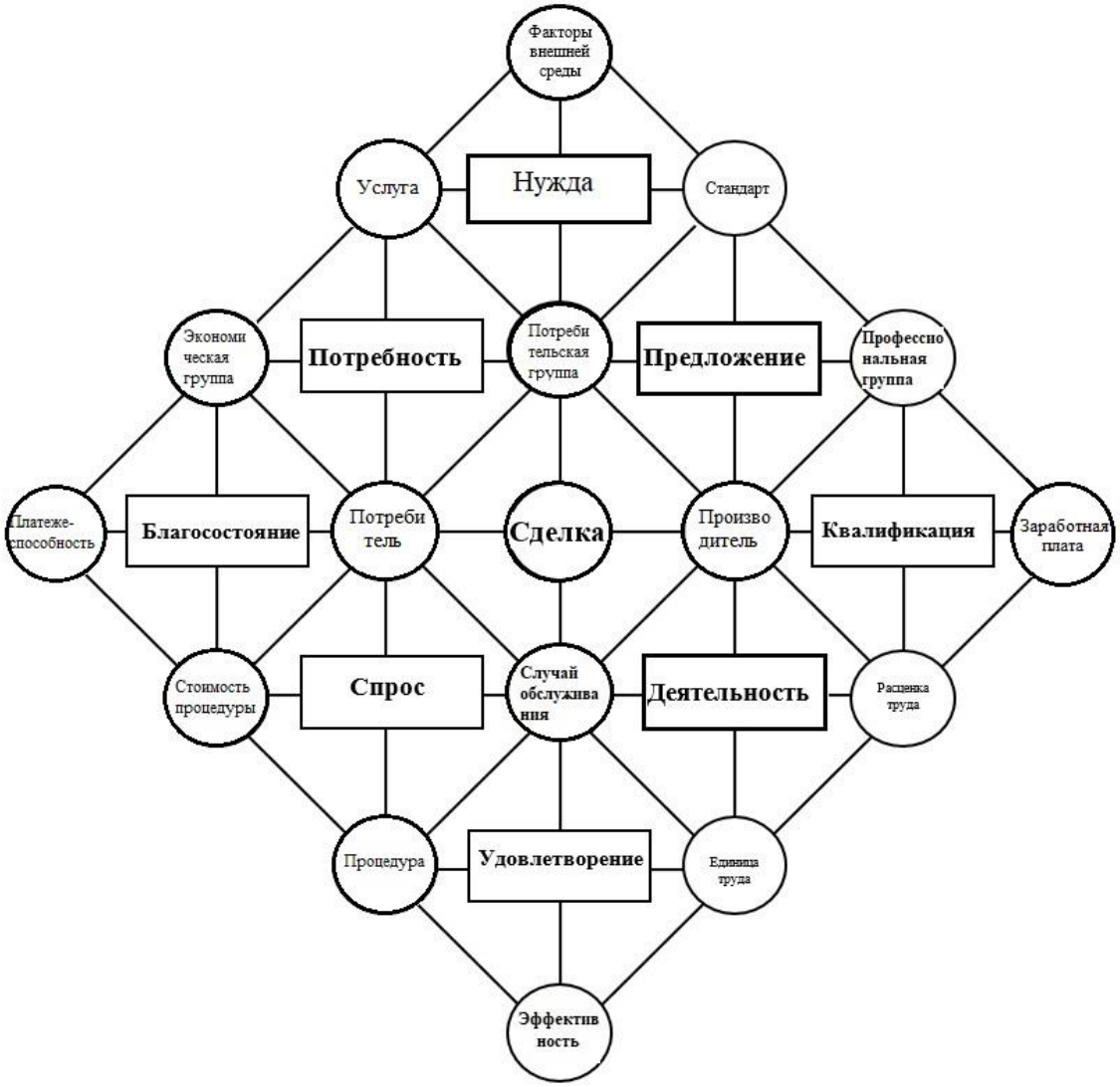


Рис. 80. Модель системы маркетинга услуг

Модель системы маркетинга услуг является частным, хотя и особенным случаем маркетинговой системы.

Описание ассоциаций в архитектонической модели системы маркетинга

Система триад

А. Большие триады

Система больших триад формируется при проведении в модели двух центральных воображаемых осей (горизонтальной и вертикальной), которые делят модель системы на симметричные (зеркальные) части. Горизонтальная ось делит модель системы на верхний и нижний треугольные блоки (JPA – блок нужды и JPY – блок удовлетворения), вертикальная - на левую и правую части (AYJ – блок потребителя и AYP – блок производителя).

Таким образом формируется система больших триад (два горизонтальных и два вертикальных треугольника):

⇒ триада JAP,

⇒ триада JPY,

⇒ триада AYJ,

⇒ триада AYP.

Б. Средние триады первого порядка.

Система средних триад первого порядка формируется из четырех треугольников:

⇒ JMA – сделка по потребности,

⇒ PMA – сделка по предложению,

⇒ MJY – сделка по спросу,

⇒ MPY – сделка по деятельности.

В. Средние триады второго порядка.

Система средних триад второго порядка формируется из восьми горизонтальных и восьми вертикальных треугольных структур.

Горизонтальные структуры:

⇒ EAI – предложение по нужде и потребности,

⇒ JBN – сделка по потребности и благосостоянию,

⇒ LDP – сделка по предложению и квалификации,

⇒ QGU – сделка по спросу и деятельности,

⇒ QYU – удовлетворение спроса деятельностью,

⇒ JVN – сделка по спросу и благосостоянию,

⇒ LXP – сделка по деятельности и квалификации,

⇒ SEI – сделка по потребности и предложению.

Вертикальные структуры:

⇒ XPD – деятельность по предложению и квалификации,

⇒ GYU – сделка по деятельности и удовлетворению,

⇒ ISA – сделка по нужде и предложению,

⇒ VBN – сделка по потребности и спросу,

⇒ VJB – спрос по потребности и благосостоянию,

⇒ YQG – сделка по спросу и удовлетворению,

⇒ SEA – сделка по нужде и потребности,

⇒ XLD – сделка по предложению и деятельности.

Г. Малые триады

Система малых триад является основополагающей в архитектонике модели.

Малые триады – это универсальные однозначно-логические связки категорий маркетинговой системы. В вершине каждой из таких триад расположен фундаментальный элемент (категория) маркетинговой системы. Каждый из элементов триады одновременно выступает как вспомогательный элемент, находясь в основании треугольника в паре с подобным себе, и становится основополагающим, располагаясь в вершине треугольника.

Три элемента малой триады связаны между собой определенной логической объективной связью, что обеспечивает подобной структуре жесткость архитектонической и логической конструкции.

В основании малых триад располагаются предикаты, т.е. элементы маркетинговой системы, характеризующие состояния и действия в системе, посредством которых обеспечивается функционирование всей маркетинговой системы. Один вид предиката соотносится с четырьмя малыми триадами, состоящими из сочетания четырех различных категорий и отличающимися направлением.

Предикаты являются своеобразными пусковыми механизмами функционирования категорий триады.

Модель системы маркетинга содержит 36 малых триад по основным 9 предикатам.

Малые триады классифицируются по четырем направлениям (в зависимости от ориентированности вершины треугольника): прямые (9), у которых вершина обращена вверх (рисунок 81), зеркальные (9), у которых вершина обращена вниз (рисунок 82), правые (9) с вершинами, направленными вправо (рисунок 83) и левые (9) с вершиной треугольника, направленной влево (рисунок 84).

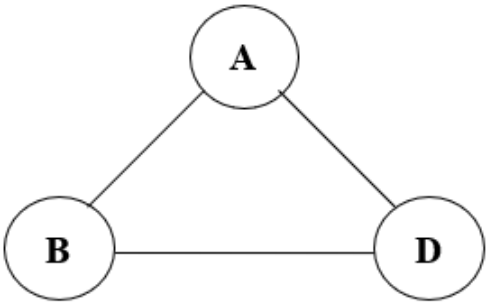


Рис. 81. Архитектоника прямой триады

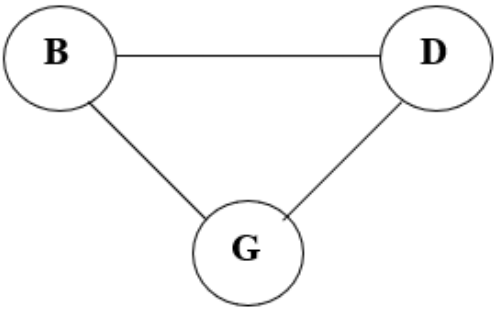


Рис. 82. Архитектоника зеркальной триады

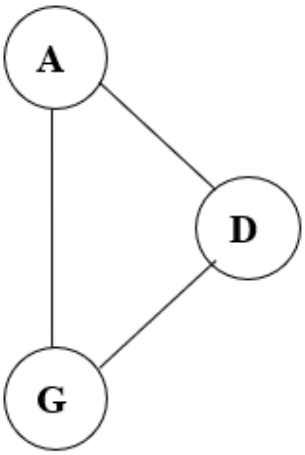


Рис. 83. Архитектоника правой триады

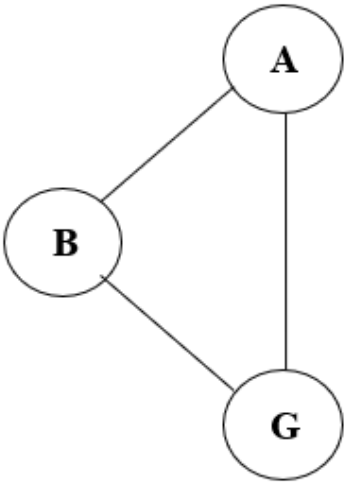


Рис. 84. Архитектоника левой триады

Название триад характеризуется категорией элемента, находящегося в вершине треугольника с указанием направления.

Пример: *триада «потребительская группа зеркальная» – означает соотношение потребительской группы с элементами образа товара и стандарта. Триада «потребительская группа прямая» означает соотношение потребительской группы с платежеспособностью и заработной платой.*

Набор четырех совмещенных триад, имеющих в своем основании один и тот же предикат, но отличающихся направлением, формирует малый ромб, обозначаемый по названию предиката.

Д. Микротриады.

Микротриада – логическая связка трех элементов модели в виде равнобедренного треугольника, в вершине которого в обязательном порядке расположен предикат, в основании - две категории с прямой связью. Каждому из девяти предикатов модели соответствуют четыре микротриады, классифицируемые по направлению, т.е. ориентации вершины. В архитектонике модели микротриады подразделяются по ориентации прямой связи категорий.

Таким образом, в архитектонике модели выделяются следующие виды микротриад: девять прямых левых (рисунок 85), девять прямых правых (рисунок 86), девять зеркальных левых (рисунок 87) и девять зеркальных правых (рисунок 88).

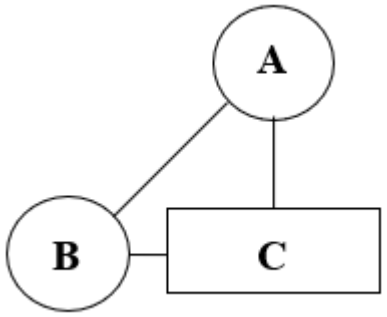


Рис. 85. Прямая левая микротриада

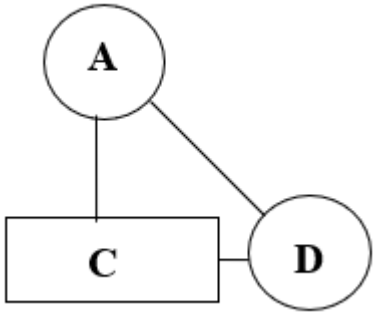


Рис. 86. Прямая правая микротриада

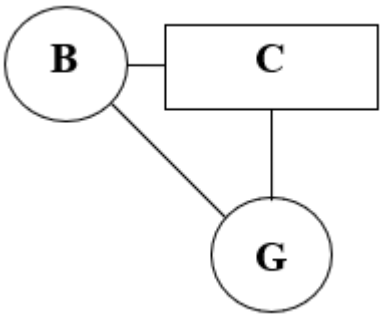


Рис. 87. Зеркальная левая микротриада

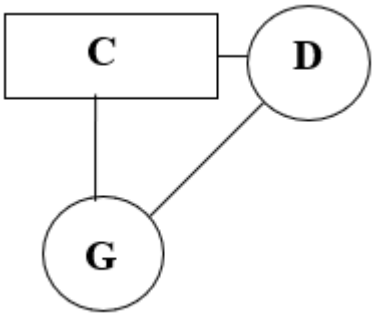


Рис. 88. Зеркальная правая микротриада

Система квартов

А. Большие кварты.

Система больших квартов представляет собой четыре условно выделенных квадрата, диагонали которых образованы крестом – Х-образным соотношением пяти категорий. Элемент системы, находящийся на пересечении диагоналей конкретного квадрата, дает название соответствующему кварту, т.е. основная характеристика кварта связана с элементом, расположенным на пересечении диагоналей данного рассматриваемого квадрата.

Обобщенно архитектоника большого кварта представлена на рисунке 89.

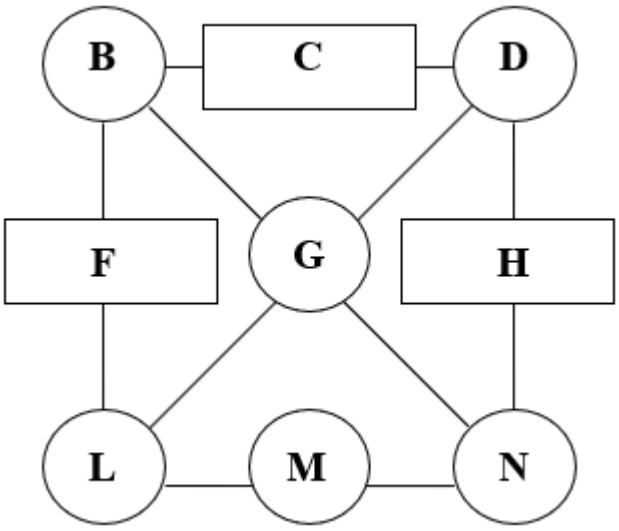


Рис. 89. Архитектоника большого кварта

* кварт QEGS – подсистема платежеспособности;
* кварт SGIU – подсистема заработной платы;

* кварт LBDN – подсистема потребительской группы;
* кварт VLNX – подсистема случая обслуживания.

Центральный элемент диагонально логически связан с четырьмя категориями, без которых его объективная сущность теряется.

Предикаты, расположенные на сторонах квадрата, функционально связывают категории, расположенные в вершинах квадрата и, по сути своей, обеспечивают функционирование определяющей (центральной) характеристики.

Особое место в архитектонике модели занимает центральный квадрат – кварт RFHT – подсистема сделки. Здесь предикаты, в отличие от остальных квартов, расположены в вершинах, а категории – по сторонам квадрата. Подобная архитектоника центрального кварта отображает объективную сущность целевой функции маркетинговой системы (сделки) быть связанной в первую очередь категориями системы, которыми в модели маркетинга услуг являются потребитель и производитель, потребительская группа и случай обслуживания, в модели маркетинга товаров – платежеспособность и заработная плата, а не предикаты (потребность-спрос, предложение-деятельность).

Б. Малые кварты.

Архитектоника малого кварта представляет собой логическую структуру в виде квадрата двух категорий и двух предикатов, в которых в обязательном порядке присутствует структура прямой связи этих же категорий.

Архитектоника малых квартов представлена двумя типами вертикально-зеркального отображения (рисунки 90, 91).

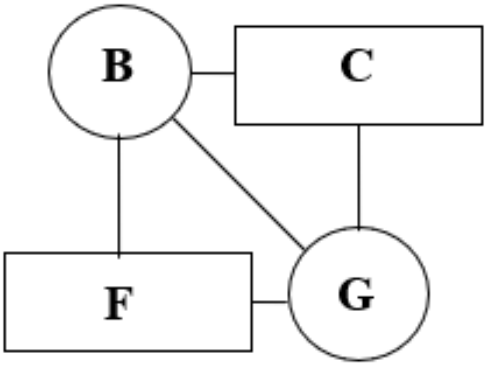


Рис. 90. Архитектоника малого кварта (тип I)

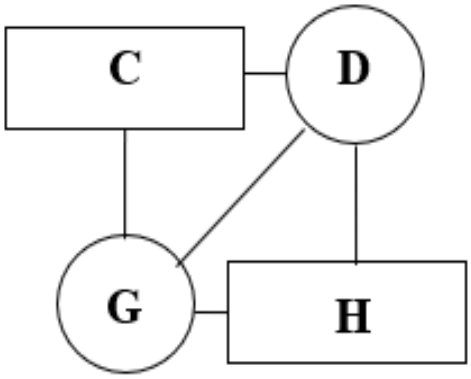


Рис. 91. Архитектоника малого кварта (тип II)

В архитектонике модели системы маркетинга различают 12 малых квартов, наименование которых определяется по паре предикатов, входящих в состав кварта:

◊ FBCG – нужда-потребность,
◊ GCDH – нужда-предложение,
◊ KEFL – потребность-благосостояние,
◊ LFGM – потребность-сделка,
◊ VGHN – предложение-сделка,
◊ NHIO – предложение-квалификация,
◊ QKLR – благосостояние-спрос,
◊ RLMS – сделка-спрос,
◊ SMNT – сделка-деятельность,
◊ TNOU – квалификация-деятельность,
◊ VRSW – спрос-удовлетворение,
◊ WSTX – деятельность-удовлетворение.

В системе больших и малых квартов выделяют специфические структуры, в которых одним из составляющих предикатов является центральный предикат маркетинговой модели. Таким предикатом (M) является основополагающая характеристика маркетинговой структуры – сделка. В этом смысле структуры квартов, а также и другие архитектонические образования модели, содержащие эту основополагающую категорию, рассматриваются как приоритетно логические.

Система ромбов

А. Малые ромбы.

Система малых ромбов формируется из четырех категорий, расположенных в углах условно выделяемого ромба, и одного

предиката, расположенного на пересечении диагоналей соответствующего ромба. Пример архитектоники малого ромба приведен на рисунке 92.

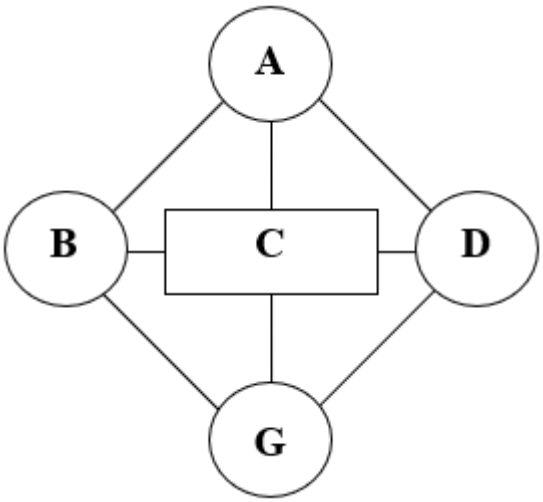


Рис. 92. Архитектоника малого ромба

С другой стороны, малые ромбы могут быть описаны как сочетание четырех малых триад (прямой, зеркальной, правой и левой), в основании которых лежит один и тот же предикат, или четырех микротриад.

Таким образом, в архитектонике модели выделяются девять малых ромбов, соответствующих девяти предикатам:

- ♦ BADG – предикат C (нужда);
- ♦ EBGL – предикат F (потребность);
- ♦ GDIN – предикат H (предложение);
- ♦ JELQ – предикат K (благосостояние);
- ♦ LGNS – предикат M (сделка);
- ♦ NIPU – предикат O (квалификация);
- ♦ QLSV – предикат R (спрос);
- ♦ SNUX – предикат T (деятельность);
- ♦ VSXY – предикат W (удовлетворение).

Б. Большие ромбы.

В архитектонике модели выделяются четыре больших ромба, каждый из которых состоит из 9 категорий и 4 предикатов. Условная структура большого ромба представлена на рисунке 93.

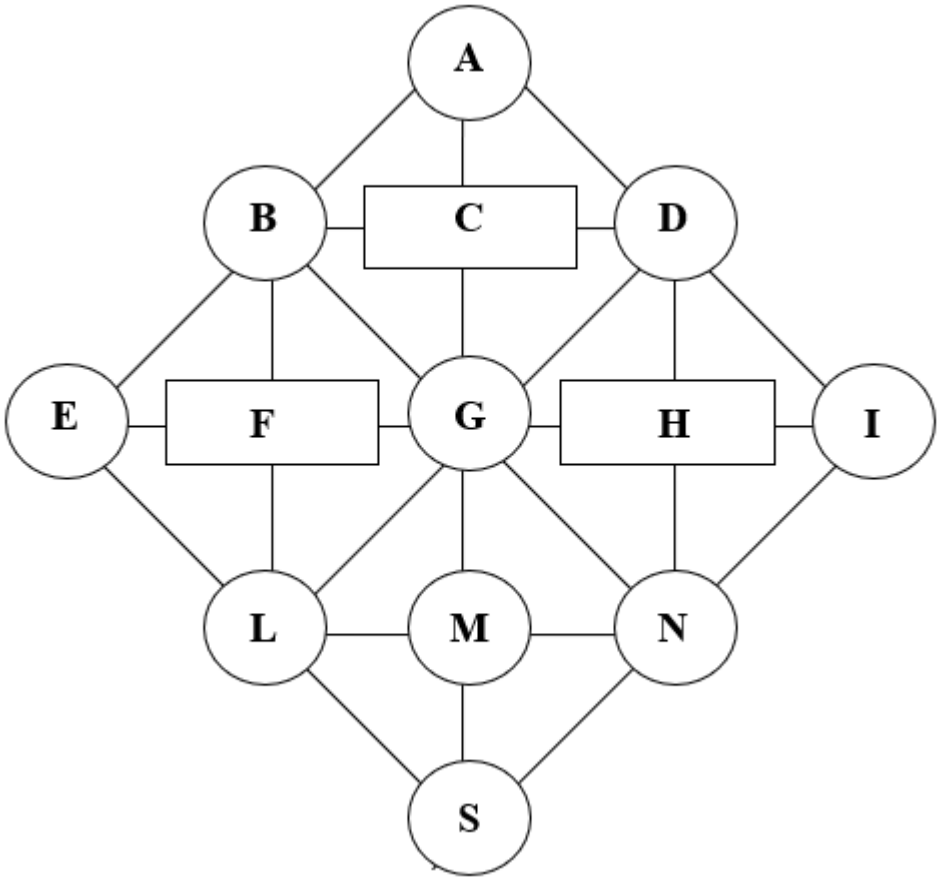


Рис. 93. Архитектоника большого ромба

Наименование ромба связано с категорией системы, расположенной в центре пересечения диагоналей.

В модели системы маркетинга товаров это:

♦ EAIS – ромб потребительской группы;

♦ JBNV – ромб платежеспособности;

♦ LDPX – ромб заработной платы;

♦ QGUY – ромб случая обслуживания.

В модели системы маркетинга услуг это:

♦ EAIS – ромб потребительской группы;

♦ JBNV – ромб потребителя;

♦ LDPX – ромб производителя;

♦ QGUY – ромб случая обслуживания.

Система четырех крестов

В архитектонике модели выделяют связки категорий маркетинговой системы, в обобщенном виде представленные на рисунке 94.

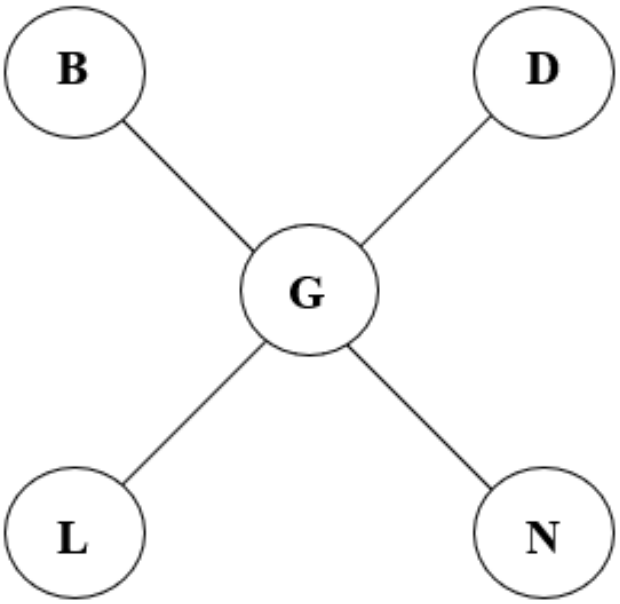


Рис. 94. Архитектоника креста

Наименование представляемой связки элементов определяется по центральной категории:

∗ G – крест «потребительская группа»;

∗ L – крест «платежеспособность» (в системе маркетинга услуг – потребитель);

∗ N – крест «заработная плата» (в системе маркетинга услуг – производитель);

∗ S – крест «случай обслуживания».

Таким образом, исследование архитектоники модели маркетинговой системы логически и наглядно вскрывает сущность симметрии элементов таких социальных систем.

Список использованных источников (раздел 3.4)

1. Поляков И. В., Уваров С. А., Водяненко И. М., Ланкин К. А. Маркетинг медицинских услуг в условиях медицинского страхования. Методическое пособие. – Саратов : Слово, 1996. – 92 с.
2. Тогунов И. А. Научное обоснование эволюции взаимоотношений врача и пациента в условиях перехода к рынку медицинских услуг: дис. ... д-ра мед. наук. – М., 2001.

3.5. Симметрия социальных отношений в системе многоуровневого управления

Современные подходы управления сложными системами, а к таким, как известно, относятся и социальные, начиная от простейших производственных и заканчивая государством, всё более активно используют высокоформализованные методы, т.е. допускают возможность их описания при помощи семейства всевозможных моделей.

Управление социальными системами в самом широком смысле – это обеспечение относительного динамического равновесия между элементами и характеристиками системы. Такие равновесные системы характеризуются определенной степенью симметрии [1].

Исследование государства как социальной организации высшего порядка в рамках симметрии позволило описать элементы и характеристики такой системы структурно-функциональными моделями, универсальными для прочих социальных систем [2, 3].

Относительная устойчивость таких социальных систем достигается построением соответствующей конструкции (форма устройства) с определенными иерархическими уровнями и нахождением относительного соответствия между элементами и группами элементов системы.

Суть соответствия определенных элементов социальной системы не что иное, как поиск и обеспечение относительной симметрии.

Динамика жизнедеятельности таких систем, их разбалансировка как в структурном понимании, так и в системе общественных отношений – суть нарушения некой относительной устойчивости, проще говоря, асимметрия.

Управление такими системами принципиально заключается в нахождении определенного возможного соответствия отдельных элементов и групп таких элементов и обеспечения в рамках определенных управленческих решений их относительно равновесного состояния. Многофакторность жизненного цикла таких организаций не позволяет в полной мере эффективно реализовать классические методы управления: статистический, тактический и оперативный. Управление такими динамическими системами требует применения новых методов управления, таких как проектное управление и многоуровневое управление.

Рассматривая государство как объект управления, используя условную фрактально-фасеточную модель социальных систем [4, 5], удалось выделить точки и уровни воздействия на такую систему в рамках многоуровневого управления [6]. В систему многоуровневого управления в модели государства выделены условные вертикальные, горизонтальные и диагональные уровни.

Модель вертикальной координации многоуровневого управления

В модели при вертикальной координации выделены следующие уровни (рисунок 95).

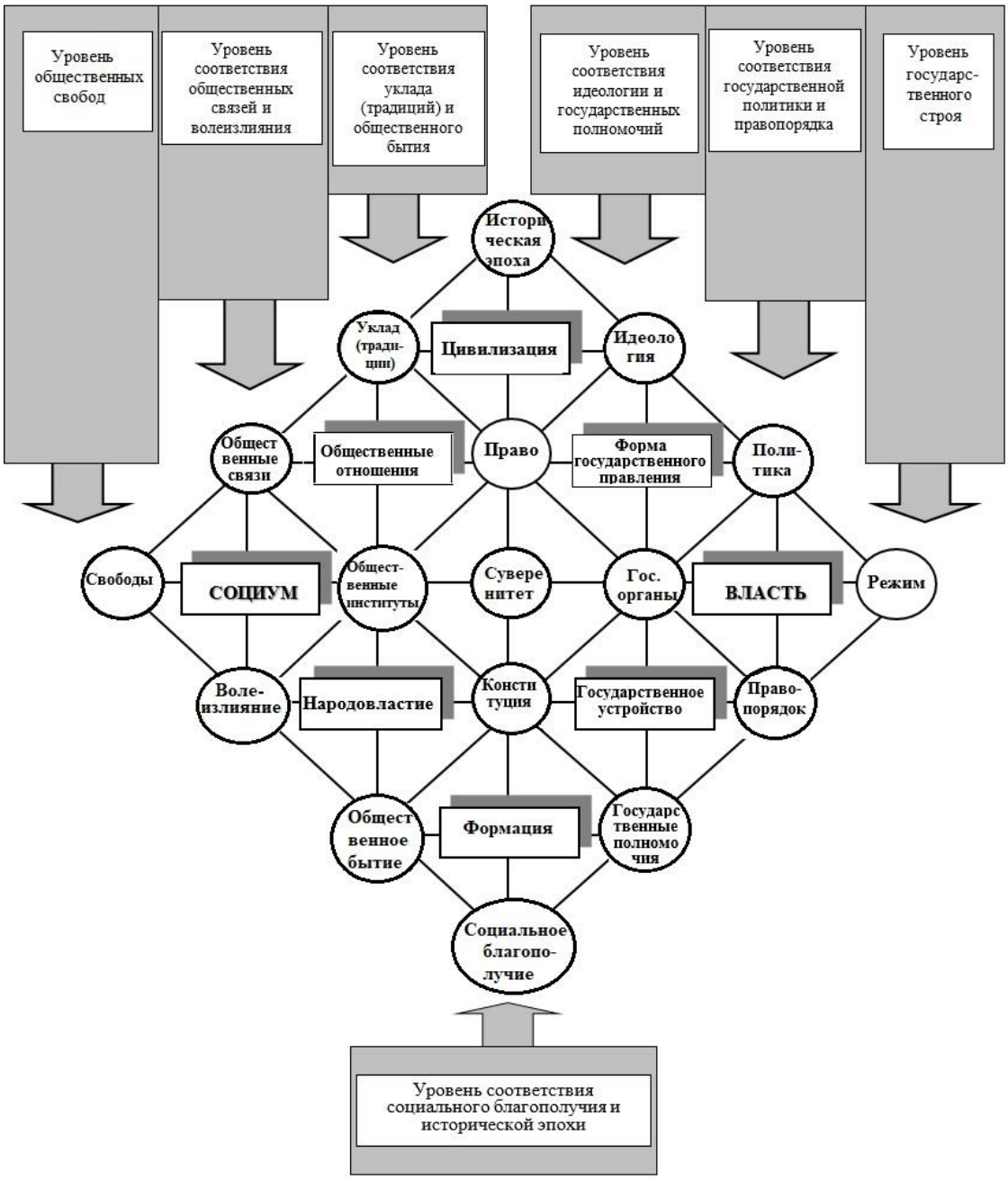


Рис. 95. Вертикальная координация системы при многоуровневом управлении

Представленные уровни, в рамках реализованных управленческих решений, характеризуют определенные равновесные соотношения (симметрию) конкретных элементов системы:

1) уровень общественных свобод;

2) уровень соответствия общественных связей и волеизлияния;

3) уровень соответствия уклада (традиций) и общественного бытия;

4) уровень соответствия идеологии и государственных полномочий;

5) уровень соответствия государственной политики и правопорядка;

6) уровень государственного строя;

7) уровень соответствия социального благополучия и исторической эпохи.

Модель горизонтальной координации многоуровневого управления

Логика раскрытых взаимоотношений элементов модели и выделение горизонтальных уровней при многоуровневом управлении представлена на рисунке 96.

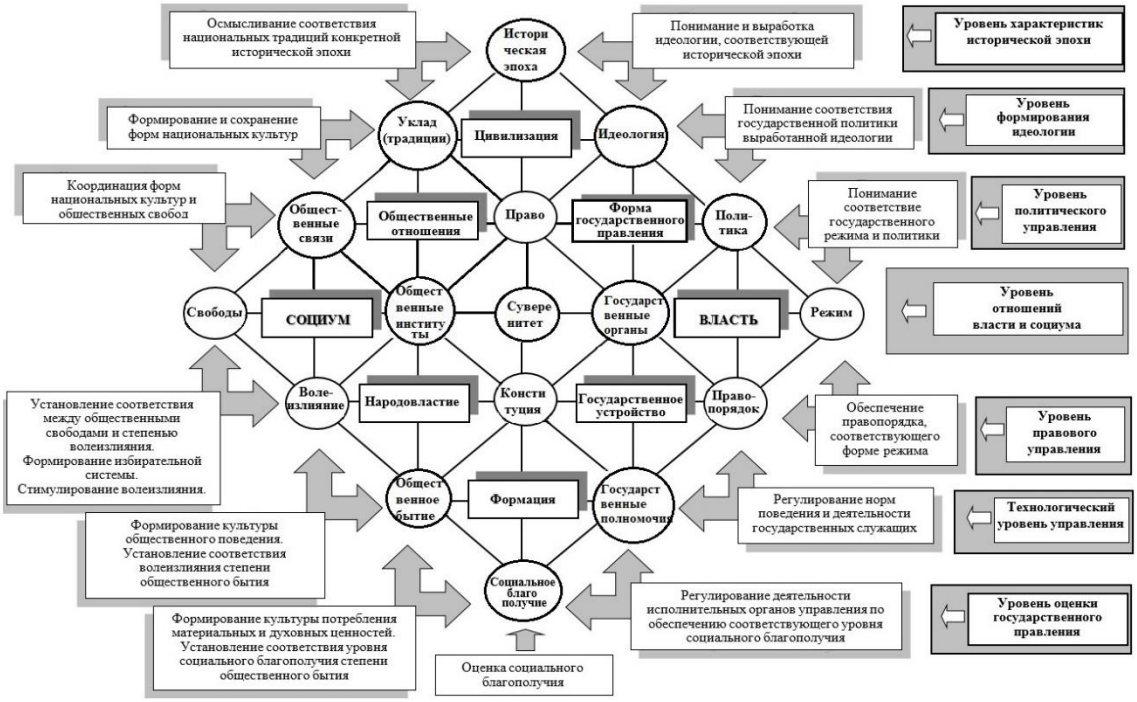


Рис. 96. Горизонтальная координация системы при многоуровневом управлении

Модель диагональной координации многоуровневого управления

При рассмотрении условных диагональных уровней управления в модели выделяют нижеперечисленные комплексные составляющие (рисунок 97).

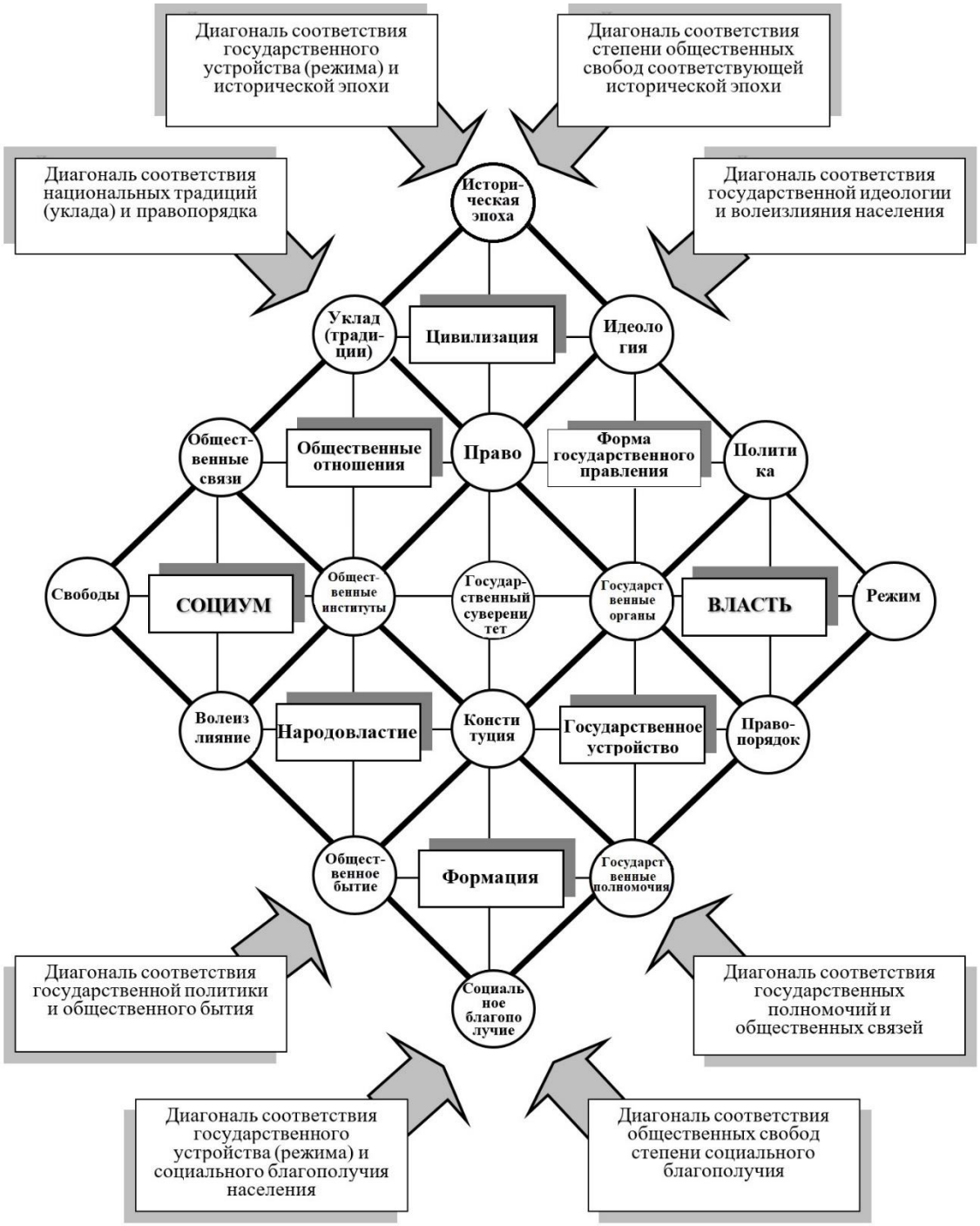


Рис. 97. Диагональная координация системы при многоуровневом управлении

Выделенные диагонали характеризуют следующие равновесные (симметричные) соотношения и состояния элементов и характеристик в модели государства.

1. Диагональ соответствия государственного устройства (режима) и исторической эпохи. В рамках этого уровня уравновешиваются вероятностные характеристики социальной системы, определяемые категориями «идеология» и «политика» – именно реализация сущности этих вероятностных категорий в реальных формах правопорядка и государственных полномочий соотносят соответствующий режим с вероятностной исторической эпохой.

2. Диагональ соответствия степени общественных свобод соответствующей исторической эпохи. Такое соответствие обеспечивается уравновешиванием уклада (традиций) и общественных связей.

3. Диагональ соответствия национальных традиций (уклада) и правопорядка. Государственные органы в правовом поле обеспечивают такое соответствие.

4. Диагональ соответствия государственной идеологии и волеизлияния населения. В свою очередь, общественные институты в правовом поле обеспечивают соответствие волеизлияния и идеологии.

5. Диагональ соответствия государственной политики и общественного бытия. Государственные органы на конституциональной основе обеспечивают такое соответствие.

6. Диагональ соответствия государственных полномочий и общественных связей. В свою очередь, общественные институты в рамках конституции соотносят общественные связи с реальными государственными полномочиями.

7. Диагональ соответствия государственного устройства (режима) и благосостояния населения: государственные полномочия и правопорядок обеспечивают такое соответствие.

8. Диагональ соответствия общественных свобод степени социального благополучия: формы волеизлияния в рамках общественного бытия соотносят реальное проявление общественных свобод с реальным уровнем социального благополучия.

Использование представленной модели как своеобразного инструмента помогает представить, каким образом управленческое воздействие способно разрешить или создать то либо иное противоречие, возникающие при взаимодействии определенных элементов системы.

Выделение условных уровней в модели позволяет приблизиться к пониманию управления тенденциями в социальных организациях как системах, относящихся к высокой степени динамичности и неопределенности в выборе своих возможных вероятностных состояний. Такую систему многоуровневого управления, по сути своей, не стоит смешивать с формами и методами ситуационного управления.

Система многоуровневого управления опирается на сущность реактивных методов воздействия и объединяет комплексно интегрированный и системный подходы при воздействии на управляемый социальный объект.

Таким образом, представленный метод моделирования государства как сложной организации социальной системы, исследование такой модели, использование модели как метода и формы управления – позволяют с определенной долей вероятности представить элементы теоретических основ многоуровневого управления, связав эти основы с постулатами симметрии.

Система многоуровневого управления является логическим развитием таких современных концепций теории управления, как стратегическое управление и стратегический менеджмент, инновационный менеджмент, организационная культура и организационное развитие, реструктуризация и управление изменениями и др.

Система многоуровневого управления (в глубоком представлении и понимании сущности такого метода), по всей видимости, характеризует неоклассический этап в развитии управленческой теории.

Данный подход опирается на такую систематизацию множественных традиционных форм и методов управления, при которой создается качественно новая система понимания как управляемого объекта, так и способов управленческих воздействий по регулированию состояний управляемой системы.

Современное понимание приложения теории управления к организациям, и в частности к социальным системам, – не что иное, как понимание их структурных характеристик и модельное представление форм устойчивости таких систем, вскрытие повторяющихся связей и процессов в этих системах, понимание и использование законов и закономерностей функционирования и тенденций эволюции таких систем.

Список использованных источников (раздел 3.5)

1. Тогунов И. А. Симметрия в маркетинговых системах // Ученые записки. – 2018. – № 1 (25). – С. 82-91.
2. Тогунов И. А. Закон универсальности социальных организаций // Эксклюзивный маркетинг. – 2007. – № 2 (59). – С. 3-20 (приложение к журналу «Практический маркетинг»).
3. Тогунов И. А. Структурно-функциональные модели социальных систем: монография. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2016. – 159 с.
4. Тогунов И. А. Системная маркетинговая модель государства // Социум и власть. – 2008. – № 1 (17). – С. 96-104.
5. Тогунов И. А. Государство как системный объект управления: опыт структурно-функционального моделирования / Государственное управление в XXI веке: традиции и инновации: материалы 6-й международной конференции факультета государственного управления МГУ им. М. В. Ломоносова (29-31 мая 2008 г.). – М., 2008.
6. Тогунов И. А. Жизненный цикл организации в свете структурной симметрии и киральности // Эксклюзивный маркетинг. – 2008. – № 1 (64). – С. 34-41.
7. Тогунов И. А. Новое в теории организации: фрактально-фасеточные модели: монография. – Владимир : Собор, 2009. – 136 с.

3.6. Исследование категории ценности с использованием принципов симметрии

При решении проблем экономического развития наиболее остро встают вопросы моделирования и прогнозирования поведения систем на основе анализа статистической информации. Если построение математических моделей эволюции можно основывать на принципах симметрии и ее нарушения, то в социальной среде главным остается

«человеческий фактор». Особенно важно получить информацию о «предпочтениях», которыми руководствуются люди в реальной жизни. Успехи любого планирования развития экономики могут быть достигнуты только при учете «менталитета» жителей региона. В связи с этим нами предлагается относительно простая статистическая модель определения предпочтений, которая в то же время базируется на фундаментальных потребностях человека. Вначале речь пойдет о бизнес-структурах, которые работают в условиях рыночных отношений.

Как известно, *целью функционирования бизнес-структур является «удовлетворение культурных потребностей покупателя» в количестве и качестве товаров и услуг, а основная задача для достижения этой цели – получение прибыли.*

Выделенная курсивом фраза затрагивает два понятия: «потребности» и «культура». Остановимся на анализе фундаментальности этих понятий и отнесем их к отдельному «обобщенному» человеку. Определим обобщенного человека *совокупностью потребностей* и выделим феноменологически основные из них, которые, на наш взгляд, определяют то, что отличает мир человека (социальную среду) от мира природы, мира растений и животных. Справедливости ради отметим, что у животных встречаются некоторые из перечисленных ниже потребностей, но в форме рефлексов.

1. Потребность к познанию, прогнозированию будущего, с целью «выживания». Проще говоря, «желаем знать, что было, что есть и что будет». Эта потребность порождает *науку, научную деятельность* в обществе.

2. Потребность (стремление) к достатку. Это потребность порождает *бизнес*.

3. Стремление к справедливости. Порождает *мораль, нравственность и право*. Стремление к «высшей справедливости» как религиозному служению часто определяет цель существования.

4. Стремление к красоте и совершенству (иногда говорят: «эстетическое отношение к действительности»). Порождает все *виды искусства*.

5. Стремление к здоровому образу жизни. Порождает все *направления спорта*.

6. Стремление к свободе выбора. Порождает *веру* как момент выбора. Отсутствие степеней свободы как пространства возможностей в моделях развития является ключевым. «Существует только то, что *возможно»*.

7. Стремление к власти. Порождает *активность* в общественной жизни. Выполняет *управленческую функцию*. Властные структуры, в частности, созданы для защиты людей от агрессии, то есть выполняют *защитную функцию*.

Если теперь спроектировать все эти потребности обобщенного человека и его стремления на социум (население региона, государства, народ, нацию, и т. п.), то почти очевидно, что мы получим совокупность «сфер», единство которых определяет *культуру*. Вместе с исчезновением социума исчезнет и культура (по-видимому, справедливо и обратное). Так, например, культурными растениями мы называем такие растения, которые были созданы человеком и без него существовать не могут.

Главным следствием создания общей культуры является то, что на ее основе вырабатывается система ценностей каждой семьи, народа (его «менталитет»), государства и, наконец, всего человечества. В свою очередь, образовавшаяся система ценностей изменяет потребности отдельного человека и определяет интересы государства.

Но при проектировании потребностей на социальную среду «весовые факторы» в потребностях отдельного человека зависят от условий жизни. Поэтому каждая семья, каждый народ, каждое государство вырабатывает свою систему ценностей, различно реагирующую на искусство, бизнес, управление, мораль, религию, спорт и науку. Механический перенос какой-либо системы ценностей от одного государства другому, без учета особенностей соответствующих культур, подобен применению «своего», пусть даже золотого ключика счастья к «чужой» двери: может и не подойти.

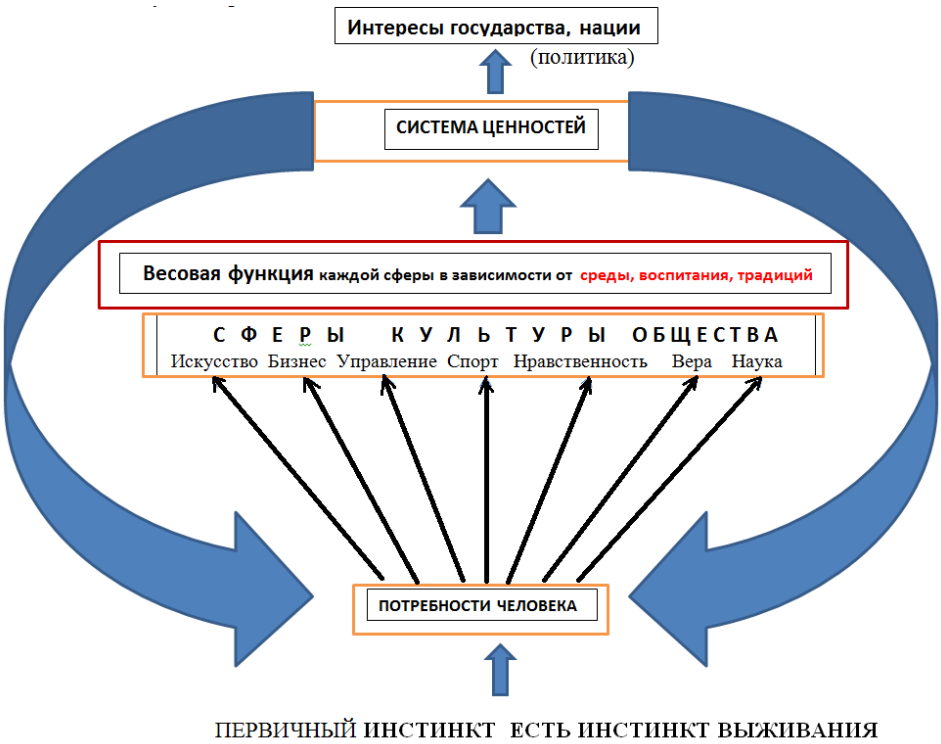


Рис. 98. Система ценностей в общей культуре (виды деятельности)

С целью выяснения «менталитета» нами были получены параметры «весовой функции» предпочтений студентов нашей Академии.

Было проведено анкетирование, результаты которого составляют практическую часть наших исследований. Анкета с возможными предпочтениями была распределена по студенческим группам специальностей факультета экономики и факультета управления. Соответствующие распределения по «интересам» кратко представлены на рисунке 99.

Рис. 99. Распределение предпочтений студентов-экономистов

Усредненные параметры предпочтений показали некоторое отличие студентов-экономистов от студентов-управленцев (рисунок 100).

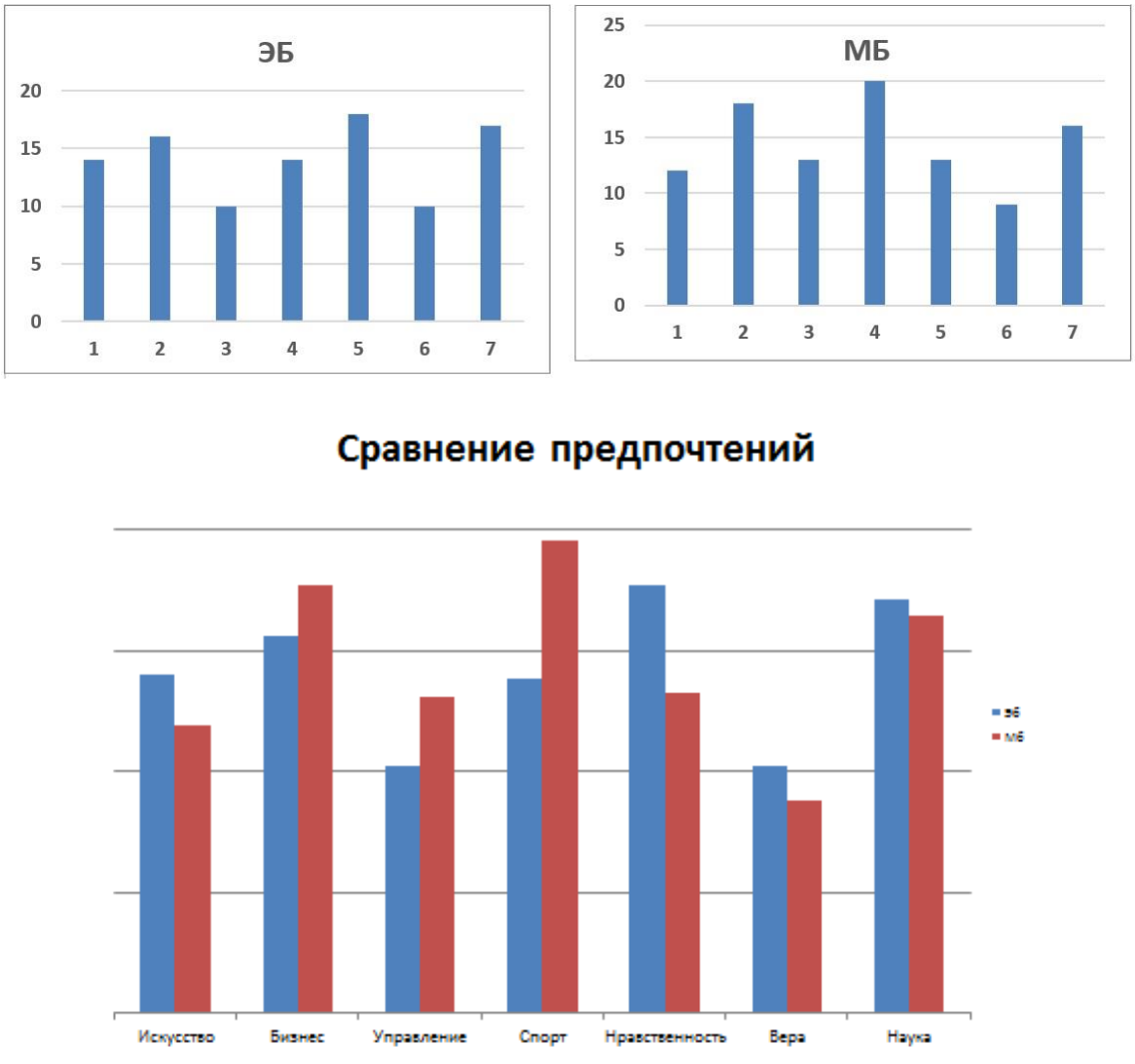


Рис. 100. Гистограммы весовой статистической функции

Итак, для оценки и анализа предпочтений в молодежной среде были выбраны семь факторов: наука, вера, нравственность, управление, творчество (или искусство), бизнес, спорт. Молодежная среда выбрана однородная: одного возраста, одного направления и курса подготовки по программе высшего образования одного высшего образовательного учреждения. Выдвигалась гипотеза об однородности предпочтений (приоритетов) в молодежной среде.

Респондентам предлагалось выставить предпочтения по предложенным факторам в процентах с учетом того, что сумма процентов должна составлять 100 %. Результаты опроса представлены в таблице 30.

Таблица 30

Результаты опроса респондентов по факторам предпочтения, %

№ п/п	Наука	Вера	Нравственность	Управление	Творчество	Бизнес	Спорт
1.	5	10	30	10	5	25	15
2.	15	15	12	15	14	17	12
3.	30	3	15	2	35	5	10
4.	15	5	20	15	10	15	20
5.	10	10	20	5	30	5	20
6.	20	5	10	15	10	20	20
7.	4	3	15	15	8	25	30
8.	10	10	40	10	5	10	15
9.	5	10	20	15	10	20	20
10.	15	18	12	11	27	10	7
11.	11	13	15	12	35	8	6
12.	5	15	20	10	25	10	15
13.	30	10	10	10	15	15	10
14.	40	5	11	11	11	11	11
15.	25	15	12,5	12,5	10	12,5	12,5
16.	15	15	12	15	14	17	12
17.	20	1	20	0	40	15	4
18.	10	0	10	20	29	14	17
19.	0	7	8	15	20	20	30
20.	5	15	30	10	5	20	15
21.	10	10	40	10	5	10	15
22.	5	30	25	10	10	10	10
23.	15	10	25	5	15	10	20
24.	30	20	20	0	10	10	10
25.	20	5	40	10	5	5	15

Для оценки согласованности мнений респондентов в распределении мест (рангов) между предложенными факторами по их приоритетности был выбран коэффициент конкордации (4):

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3-n)}, \tag{3.4}$$

где n – количество коррелируемых факторов (объектов экспертизы); m – число респондентов (экспертов); S – сумма квадратов отклонений суммы рангов по n факторам от их средней арифметической, т.е.

$$S = \sum_{1}^{m}\left(\sum_{1}^{n} R_i - \overline{\sum R}\right)^2 . \tag{3.5}$$

Для исходных данных, приведенных в таблице 1, имеем $n = 7$, $m = 25$, $S = 1233$. В итоге получаем коэффициент конкордации $W = 0{,}07$. Учитывая, что при полной согласованности мнений экспертов (респондентов) при оценке факторов коэффициент конкордации равен $W = 1{,}00$, а при полном отсутствии такого согласования $W = 0{,}00$, в данном случае получаем, что мнения респондентов по предложенному перечню предпочтений сильно расходятся. Имеем максимальную энтропию (отсутствие заметной упорядоченности) рассматриваемых факторов для исследуемой среды. Такой результат вполне ожидаем, даже если группа молодежи, на первый взгляд, однородна.

Далее оценивалась гипотеза об уровне связи отдельных факторов между собой. Такая оценка позволяет анализировать тесноту и направление взаимной связи между предпочтениями (факторами) для выбранной группы респондентов.

Результаты вычислений парных линейных коэффициентов корреляции предпочтений представлены в таблице 31.

Таблица 31

Результаты вычислений парных линейных коэффициентов корреляции предпочтений

	Наука	Вера	Нравственность	Управление	Творчество	Бизнес	Спорт
Наука	1						
Вера	-0,27	1					
Нравственность	-0,50	-0,08	1				
Управление	-0,26	0,36	-0,22	1			
Творчество	0,11	-0,06	-0,20	-0,72	1		
Бизнес	-0,34	-0,18	0,01	0,52	-0,63	1	
Спорт	-0,46	-0,26	0,15	0,46	-0,57	0,48	1

Полученные результаты вычислений парных линейных коэффициентов корреляции предпочтений позволяют сделать следующие выводы.

«Наука» как фактор или предпочтение имеет отрицательную обратную связь со всеми остальными факторами, кроме фактора «творчество» (0,11), т.е. только рост творчества способствует росту интереса к науке в молодежной среде (или, наоборот, имеем

положительное влияние науки на рост творческого потенциала). При этом на фактор «наука» наиболее отрицательно оказывают влияние такие факторы как «нравственность» (-0,50) и «спорт» (-0,46).

Фактор «вера» обладает слабой связью со всеми предпочтениями в молодежной среде, т.к. все парные коэффициенты корреляции для фактора «вера» по модулю меньше 0,3, кроме коэффициента корреляции пары «вера»-«управление» (0,36).

Фактор «управление» имеет достаточно заметную корреляцию с остальными факторами. Обращает на себя внимание высокая и отрицательная зависимость пары факторов «управление»-«творчество» (-0,72), что означает, что, по мнению респондентов, управление не способствует творчеству или творчество отрицательно сказывается на управлении. С другой стороны, имеется заметная и прямая корреляция пары факторов «управление»-«бизнес» (0,52), т.е. владение современными компетенциями в управлении способствует, по мнению респондентов, развитию бизнеса.

Фактор «творчество» имеет достаточно высокую тесноту связи с фактором «бизнес», но связь отрицательная (-0,63), т.е. респонденты не предполагают использования творчества в бизнесе.

Фактор «спорт» для респондентов обладает положительной корреляцией только с факторами «управление» (0,46) и «бизнес» (0,48).

Для оценки наличия или отсутствия закономерности связи исследуемых факторов результаты парных линейных коэффициентов корреляции необходимо проверить на статистическую значимость. Для этого используем *t*-статистику [1]. Расчетные значения *t*-статистики для соответствующих коэффициентов корреляции (см. таблицу 31) приведены в таблице 32.

Таблица 32

Результаты вычислений *t*-статистики

	Наука	Вера	Нравственность	Управление	Творчество	Бизнес	Спорт
Наука							
Вера	1,33						
Нравственность	*2,78*	0,37					
Управление	1,30	1,87	1,06				
Творчество	0,55	0,28	0,99	*4,92*			
Бизнес	1,73	0,87	0,06	*2,90*	*3,87*		
Спорт	*2,50*	1,32	0,72	*2,51*	*3,32*	*2,61*	

Для оценки статистической значимости коэффициентов корреляции связи факторов, представленных в таблице 31, выбрана величина значимости ошибки 5 %. Тогда для количества наблюдений $n = 25$ получаем табличное (критическое) значение t-статистики $t_{табл} = 2{,}07$. Учитывая, что статистическая значимость проверяемых коэффициентов корреляции подтверждается при условии, что соответствующее расчетное значение t-статистики по модулю больше табличного значения $t_{табл}$, получаем следующие выводы.

Фактор «вера» и фактор «нравственность» имеют статистически незначимые корреляции практически со всеми остальными факторами, в том числе и между собой.

Значимые коэффициенты корреляции соответствуют оценкам t-статистики, отмеченными в таблице 32 курсивом. Так, наибольшим количеством значимых коэффициентов корреляций с другими факторами обладает фактор «спорт» (коррелирует с факторами «наука», «управление», «творчество», «бизнес»), а также факторы «управление» и «бизнес».

Список использованных источников (глава 3)

1. Акаев А. А. Современный финансово-экономический кризис в свете теории кондратьевских циклов [Электронный ресурс]. URL: http://cliodynamics.ru.
2. Антипов А. А., Аракелян С. М., Кутровская С. В., Кучерик А. О., Рау В. Г., Зимин С. П. Формирование квантовых точек PbTe при лазерном воздействии на полупроводниковый кристалл, помещенный в жидкость // Перспективные материалы. – 2013. – № 14. – С. 304-309.
3. Аракелян С. М., Кучерик А. О., Прокошев В. Г., Рау В. Г., Сергеев А. Г. Введение в фемтонанофотонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов. – М. : Логос, 2015. – 744 с.
4. Бернар И., Колли Ж.-К. Толковый экономический и финансовый словарь: В 2 т. / пер. с фр. – М. : Междунар. отношения, 1994.
5. Блауг М. Закон рынков Сэя / Экономическая мысль в ретроспективе = Economic Theory in Retrospect. – М. : Дело, 1994. – С. 136-150. – XVII, 627 с. – ISBN 5-86461-151-4.

6. Бокарев Ю. П. Виртуально-пространственный подход в экономической компаративистике / История мировой экономики. Вып. 1. Компаративные исследования экономической истории: сборник статей. – М. : Институт экономики РАН, 2012. – С. 109-160.
7. Громыко Г. Л. Теория статистики: практикум. – 4-е изд., доп. и перераб. – М. : ИНФРА-М, 2009.
8. Зайцев А. А. Предпосылки государственного регулирования устойчивости аграрных отношений на динамической рентной основе: монография [Электронный ресурс]. URL: https://books.google.ru/books?id=pEA4DwAAQBAJ&lpg=PA1&hl=ru&pg=PA1#v=onepage&q&f=false.
9. Кирдина С. Г. Институциональные матрицы и развитие России. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск : ИЭиОПП СО РАН, 2001.
10. Поляков И. В., Уваров С. А., Водяненко И. М., Ланкин К. А. Маркетинг медицинских услуг в условиях медицинского страхования. Методическое пособие. – Саратов : Слово, 1996. – 92 с.
11. Радченко Я. В. Знание законов социальной организации - условие результативности политики и управления. / Актуальные проблемы естественных и гуманитарных наук: тезисы докл. юбил. конф. Яросл. гос. ун-та. Общественные науки. – Ярославль, 1995.
12. Рау В. Г. Основы математики и прикладная статистика в экономике и управлении: учебно-методическое пособие. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2016. – 146 с. – ISBN 978-5-906773-20-3.
13. Рау В. Г., Ломтев Л. А., Рау Т. Ф., Герасимов К. А. Программа расчета групп симметрии и нарушенной симметрии MATRIX. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2018664999. – М., 2018.
14. Рау В. Г., Ломтев Л. А., Рау Т. Ф., Горшков К. А., Никитин О. Р. Компьютерные эксперименты в группах подстановок с нарушенной симметрией // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 3. – С. 43-49. – DOI: 10/17513/snt.36614.
15. Рау В. Г., Рау Т. Ф., Малеев А. В. Статистические модели в квантовой физике, экологии и экономике. – М. : Издательский дом Академии естествознания, 2015. – 144 с.
16. Региональная экономика: учебник / под ред. В. И. Видянина, М. В. Степанова. – М. : ИНФРА-М, 2005.

17. Русанов А. И. М. М. Шульц и химическая термодинамика // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4 «Физика. Химия». – 2010. – № 4. – С. 60-65.
18. Суслов И. В. Мировой финансовый кризис: циклы Кондратьева (К-циклы) [Электронный ресурс]. URL: http://igorsychov.blogspot.com/2008/12/blog-post_12.html.
19. Тихонюк Н. Е Платформы в цифровой экономике: основные принципы формирования / Региональная экономика: опыт и проблемы: материалы XII Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. И. Новикова и А. Е. Илларионова. – Владимир, 2019. – С. 120-125.
20. Тихонюк Н. Е. Использование теории конвергенции как направления развития экономического потенциала в условиях глобализации экономики / Управление инновационным развитием региона: материалы конференции. – Владимир : ВлГУ, 2012.
21. Тихонюк Н. Е., Кисляков А. Н. Модель ценообразования однородного рынка с учетом асимметричности информации // Инновационное развитие экономики. – 2019. – № 1. – С. 93-100.
22. Тогунов И. А. Государство как системный объект управления: опыт структурно-функционального моделирования / Государственное управление в XXI веке: традиции и инновации: материалы 6-й международной конференции факультета государственного управления МГУ им. М. В. Ломоносова (29- 31 мая 2008 г.). – М., 2008.
23. Тогунов И. А. Жизненный цикл организации в свете структурной симметрии и киральности // Эксклюзивный маркетинг. – 2008. – № 1 (64). – С. 34-41.
24. Тогунов И. А. Закон универсальности социальных организаций // Эксклюзивный маркетинг. – 2007. – № 2 (59). – С. 3-20 (приложение к журналу «Практический маркетинг»).
25. Тогунов И. А. Научное обоснование эволюции взаимоотношений врача и пациента в условиях перехода к рынку медицинских услуг: дис. ... д-ра мед. наук. – М., 2001.
26. Тогунов И. А. Научно-методологические и организационные аспекты интеграции городской поликлиники и формирующейся системы обязательного медицинского страхования: дис. … канд. мед. наук. – М., 1997.
27. Тогунов И. А. Новое в теории организации: фрактально-фасеточные модели: монография. – Владимир : Собор, 2009.

28. Тогунов И. А. Симметрия в маркетинговых системах // Ученые записки. – 2018. – № 1 (25). – С. 82-91.
29. Тогунов И. А. Системная маркетинговая модель государства // Социум и власть. – 2008. – № 1 (17). – С. 96-104.
30. Тогунов И. А. Структурно-функциональные модели социальных систем: монография. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2016. – 159 с.
31. Циклы Кондратьева [Электронный ресурс]. URL: http://cliodynamics.ru.
32. Шубников А. В., Копцик В. А. Симметрия в науке и искусстве. – М. – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2004. – 560 с.
33. Шубников А. В., Копцик В. А. Симметрия в науке и искусстве. – М. : Наука, 1972. – 339 с.
34. Kiminori Matsuyama Symmetry-Breaking [Электронный ресурс]. URL: http://faculty.wcas.northwestern.edu/~kmatsu/Symmetry-Breaking.pdf.
35. Lévi-Strauss C. Anthropologie structurale. – P., 1958.
36. Malinowski B. A scientific theory of culture. – N. Y., 1960.
37. Polanyi K. The Great Transformation. – N. Y. : Farrar & Rinehart, Inc., 1944.
38. Rau V. G., Togunov I. A., Rau T. F., Polyakov S. V. Structure Transformations in Broken Symmetry Groups // Abstraction and Visualization. Symmetry. – 2018. – Vol. 10. – doi:10.3390/sym10100440.

Глава 4. ПРИКЛАДНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ АСИММЕТРИИ РЫНКОВ

4.1. Модель ценообразования однородного рынка с учетом асимметричности информации

Асимметричная информация возникает, когда стороны, вовлеченные в экономическую сделку, не в равной степени информированы и не могут взвешенно принимать решения. В течение многих лет классическая экономика не концентрировалась на асимметрии, так как в центре внимания было понимание теории стоимости (Laffont and Martimore, 2009). Теория, разработанная Маршанком и Раднером (1972), признает асимметричность характера информации и фокусируется на повышении оптимальной координации информационных потоков. Например, Джордж Акерлоф (1970), один из пионеров в этой области, изучил последствия асимметричной информация на рынке подержанных автомобилей и разработал концепцию управления ассиметричной информацией в условиях несовершенной конкуренции.

В сложившихся условиях сетевой экономики и сетевого общества наибольшее влияние на потребительское поведение оказывают автоматизированные информационные системы. На это повлияли новые тенденции глобальной коммуникации на протяжении последних десятилетий. Они формируют совершенно новые технологии, принципиально измененные информационные потоки между экономическими и социальными элементами системы. Это сигнализирует о переходе от промышленного общества в сетевое общество и экономику. Данные факт приводит к тому, что непрерывно создаются новые модели информационного потока, что требует комбинированных технологий и решений на стыке экономики, психологии и математики.

Исследования моделей экономического развития [1, 2] показали, что основным фактором, оказывающим воздействие на развитие информационных рынков, является нарушение информационной симметрии, приводящее к эволюционным изменениям рынка и определяющее их устойчивость. Данная симметрия выражается в информированности продавцов и покупателей о состоянии рынка. Однако каждый рынок стремится к устойчивому состоянию, в котором

наблюдается различная степень информированности участников рынка о его состоянии.

Исследование симметрии наиболее целесообразно на примере однородного рынка. В работе Прангишвили И. В. сказано, что «однородный рынок – это экономическая система, в которой между ее элементами существует постоянное количество связей и которая оптимизирована с точки зрения минимума затрат по обеспечению собственной устойчивости. По сути, модель такого рынка является эталоном, с которым сравниваются реальные процессы, в результате чего формируется некоторая оценка этих процессов, позволяющая организовать управляющее воздействие на рынок» (рисунок 101).

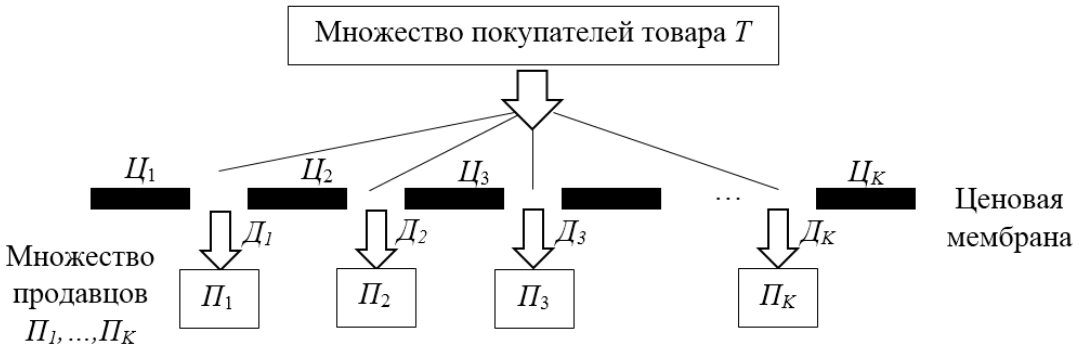


Рис. 101. Структурная схема модели информационного взаимодействия на рынке

Если реальный рынок стремится к однородному рынку, то он становится более прогнозируемым и управляемым с минимумом издержек по обеспечению собственной устойчивости.

Для описания модели рынка в работе [3] используется комплекс взаимосвязанных элементов:

– множество продавцов $П_1$, …, $П_K$, торгующих одним и тем же товаром *Т;*

– множество покупателей товара *Т*;

– множество цен $Ц_1$, ..., $Ц_K$ на товар, назначаемых продавцами.

«Каждый *i*-й продавец получает свою долю $Д_i$ от общего денежного потока в зависимости от соотношения своей цены с ценами конкурентов. При этом набор цен всех присутствующих на рынке конкурентов определяет "ценовую мембрану", которая выполняет роль барьера, определяющего соотношение между спросом и предложением, т.е. ценовая мембрана выполняет функцию управления

денежными (и материальными) потоками на рынке. В результате первоначальный поток *Д* после прохождения через мембрану путем его разбиения на *К* частей становится упорядоченным и приобретает признаки устойчивой структуры. Но для этого сама ценовая мембрана должна обладать устойчивой структурой, и эта структура, как маска, должна налагаться на поток *Д*» [3]. Оценка рынка по степени его асимметрии позволит описать эволюцию рынка как динамической системы. При этом удобно использовать инструменты математического анализа, которые применяются для построения стратегии поведения участников рынка, а также прогнозирования цены товаров. На основании этого предлагается следующая методика моделирования и анализа состояния рынка для оценки степени его асимметрии.

При определении цены за товар или услугу в борьбе с конкурентами на рынке двумя основными источниками неопределенности являются количество конкурентов и цены, предлагаемые каждым конкурентом. Классическая модель определяет стратегию поведения продавцов на рынке следующим образом: если цена предложения будет слишком низкой, то реализация товара (услуги) не принесет много дохода, если же цена предложения будет завышена, то велика вероятность того, что покупатели откажутся от вашего предложения в пользу более низкой цены у конкурентов. Считается, что оптимальная цена предложения находится где-то посередине. Однако в условиях сетевой экономики и сетевого общества на рынке складывается не столь однозначная ситуация. Дело в том, что могут быть покупатели осведомлены не только о цене, но и о его качестве, репутации продавца и других характеристиках товара. В этой связи ценовая мембрана является нелинейной функцией, зависящей от многих факторов.

Аналитикам часто приходится оценить вероятность подобных неопределенных событий, и здесь уже задача сводится к задаче оценки рисков. Для определения цены предложения, максимально увеличивающей ожидаемую прибыль, рассмотрим моделирование по методу Монте-Карло [4, 5], который позволяет моделировать ситуации, проявляющие неопределенность, многократно воспроизводить их на компьютере и оценивать численными методами. Таким образом, под методом Монте-Карло понимается численный метод решения математических задач при помощи моделирования случайных величин, что является важной частью процесса принятия решений [6, 7]. Ведь

результат поведения социально-экономической системы воспроизводится много раз, а потом на основе полученных случайных данных вычисляются вероятностные характеристики решаемой задачи.

Так, например, если требуется вычислить какую-то неизвестную величину m, то можно придумать такую случайную величину ξ, чтобы математическое ожидание $\mu_\xi = m$. Пусть при этом $D_\xi = \sigma^2$. Рассмотрим N независимых случайных величин ξ_1, ξ_2, …, ξ_N (реализаций), распределения которых совпадают с распределением ξ. Если N достаточно велико, то, согласно центральной предельной теореме, распределение суммы

$$p_N = \sum_i \xi_i \tag{5.1}$$

будет приблизительно нормальным с параметрами $\mu_{PN} = Nm$, $D_{PN} = N\sigma^2$.

На основе центральной предельной теоремы также нетрудно получить соотношение:

$$P\left(\left|\frac{p_N}{N} - m\right| \le k\frac{\sigma}{\sqrt{N}}\right) = P\left(\left|\frac{1}{N}\sum_i \xi_i - m\right| \le k\frac{\sigma}{\sqrt{N}}\right) \to 2F\left(k\right) - 1, \tag{5.2}$$

где $F(x)$ – функция распределения стандартного нормального распределения.

Это соотношение для метода Монте-Карло позволяет выполнить расчет m и дать оценку погрешности.

Если найти N значений случайной величины ξ. Из указанного соотношения видно, что среднее арифметическое этих значений будет приближенно равно m. С вероятностью, близкой к $2F(k) - 1$, ошибка такого приближения не превосходит величины $k\sigma/\sqrt{N}$. Очевидно, эта ошибка стремится к нулю с ростом N.

В зависимости от целей последнее соотношение используется по-разному. Например, если взять $k = 3$, то получим так называемое «правило трех сигм» при точности 0,9973. Если требуется конкретный уровень надежности вычислений α, то

$$P\left(\left|\frac{p_N}{N} - m\right| \le F^{-1}\left(\frac{\left(1+\alpha\right)}{2}\right)\frac{\sigma}{\sqrt{N}}\right) \approx \alpha\,. \tag{5.3}$$

Как видно из приведенных выше соотношений, точность вычислений зависит от параметра N и величины σ – среднеквадратичного отклонения случайной величины ξ.

Данный метод также часто применяется для вычисления интегралов. Так, если требуется вычислить определенный интеграл:

$$I = \int_a^b g(x)\,dx, \tag{5.4}$$

то для вычисления подобного интеграла можно использовать практически любую случайную ξ величину с плотностью распределения $f_\xi(x)$, определенной на интервале от a до b. Но дисперсия, а вместе с ней и оценка точности, зависит от того, какую случайную величину ξ взять для проведения расчетов. Тогда для случайной величины $\lambda = g(\xi) / f_\xi(\xi)$:

$$P\left(\left|\frac{1}{N}\sum_i \lambda_i - I\right| \le 3\sqrt{\frac{D_\lambda}{N}}\right) \approx 0{,}9973. \tag{5.5}$$

Последнее соотношение означает, что если выбрать N значений $\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_N$, то при достаточно большом N:

$$\frac{1}{N}\sum_i \frac{g(\xi_i)}{f_\xi(\xi_i)} \approx I. \tag{5.6}$$

В итоге остается только выбрать интегральное распределение вероятностей $f_\xi(\xi_i)$, по форме схожее с модулем интегрируемой функции.

Также следует учитывать, что точность вычислений зависит от количества N случайных величин, включенных в сумму. Причем для увеличения точности вычислений в 10 раз нужно увеличить N в 100 раз.

При решении некоторых задач для получения приемлемой точности оценки требуется брать очень большое число N. А учитывая, что метод зачастую работает очень быстро, то реализовать последнее при современных вычислительных возможностях совсем не сложно.

Ниже на примере показано, как можно применить метод Монте-Карло для определения цены предложения, максимально увеличивающей ожидаемую прибыль.

Количество благоприятных исходов в n независимых событий, каждое из которых имеет вероятность благоприятного исхода, равную p, описывается биномиальным законом распределения и определяется с помощью формулы:

$$f_n(k) = C_n^k p^k q^{n-k},\ 0 < p < 1,\ q = 1 - p,\ k = 1, 2, \dots, n. \quad (5.7)$$

Рассмотрим подробнее, как применить эту функцию для моделирования для определения максимально прибыльной цены с учетом информационной асимметрии. В качестве примера рассмотрим, как с помощью моделирования определить оптимальную цену предложения для такого товара как велосипед с заданными характеристиками. Такая модель строится на вероятностных характеристиках и определяется следующими переменными:

1) общее количество конкурентов с аналогичными предложениями;

2) вероятность предложения конкурентами аналогичного товара;

3) цена предложения конкурентов.

Таким образом, стратегия поведения на рынке сводится к определению такой цены на товар определённой категории, которая, с одной стороны, с высокой долей вероятности окажется самой привлекательной для клиентов (низкой), а другой – позволит реализовать продукцию с максимальной для продавца прибылью.

В модели заданы следующие параметры: себестоимость велосипеда: 10 тыс. руб., максимальное количество аналогичных предложений на рынке – 5, вероятность появления аналогичных предложений на рынке 50 %.

Рис. 102. Зависимость средней прибыли от цены предложения

Из графика видно, что существует участок кривой, дающий положительный ожидаемый эффект от продажи товара в промежутке цен примерно от 10 до 15 тыс. руб. Это означает, что 13 тыс. рублей является самой оптимальной ценой предложения на рынке в сложившейся обстановке. Отметим, что если вероятность появления на рынке аналогичных предложений возрастет до 70 %, то предлагать данный товар в этой нише рынка станет невыгодно.

Рассмотрим также, как будет влиять количество конкурентов на ожидаемую максимальную прибыль. На рисунке 103 изображен график, на котором отчетливо видно, что зависимость ожидаемой максимальной прибыли от количества конкурентов носит нелинейный характер. Причем в данном случае также существует пороговое значение конкурентов, равное 6, свыше которого ожидаемая прибыль также становится отрицательной.

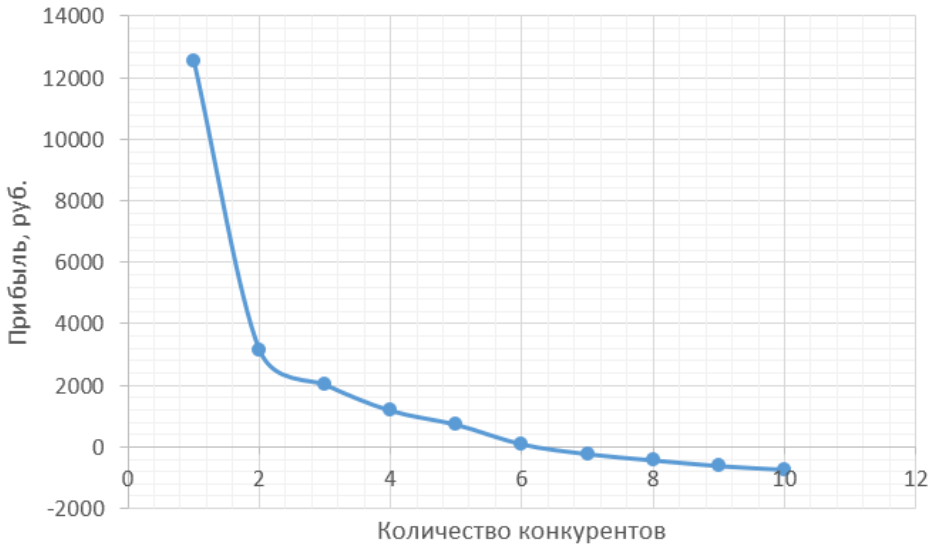


Рис. 103. Зависимость ожидаемой максимальной прибыли от количества конкурентов

Разумеется, такие показатели, как вероятность появления предложений на рынке и количество конкурентов, плохо поддаются прямому подсчету и являются больше аналитическими выводами, построенными на основе анализа инфраструктуры рынка.

К примеру, на рисунке 104 изображены графики зависимости цены предложения от прибыли при разных уровнях вероятности появления нескольких конкурентов на рынке. При этом наблюдается тенденция к снижению оптимальной цены предложения. Однако при

увеличении цены предложения при малой вероятности появления конкурентов средняя прибыль носит случайный осциллирующий характер. Это объясняется увеличением вероятности продать товар при отсутствии конкурентов и наличии спроса на него, что также определяет высокую степень риска получения прибыли [7, 8]. Однако чисто теоретически существует цена, при которой возможно получить прибыль, если попытаться продать товар чрезмерно дорого, но на практике такие случаи встречаются крайне редко.

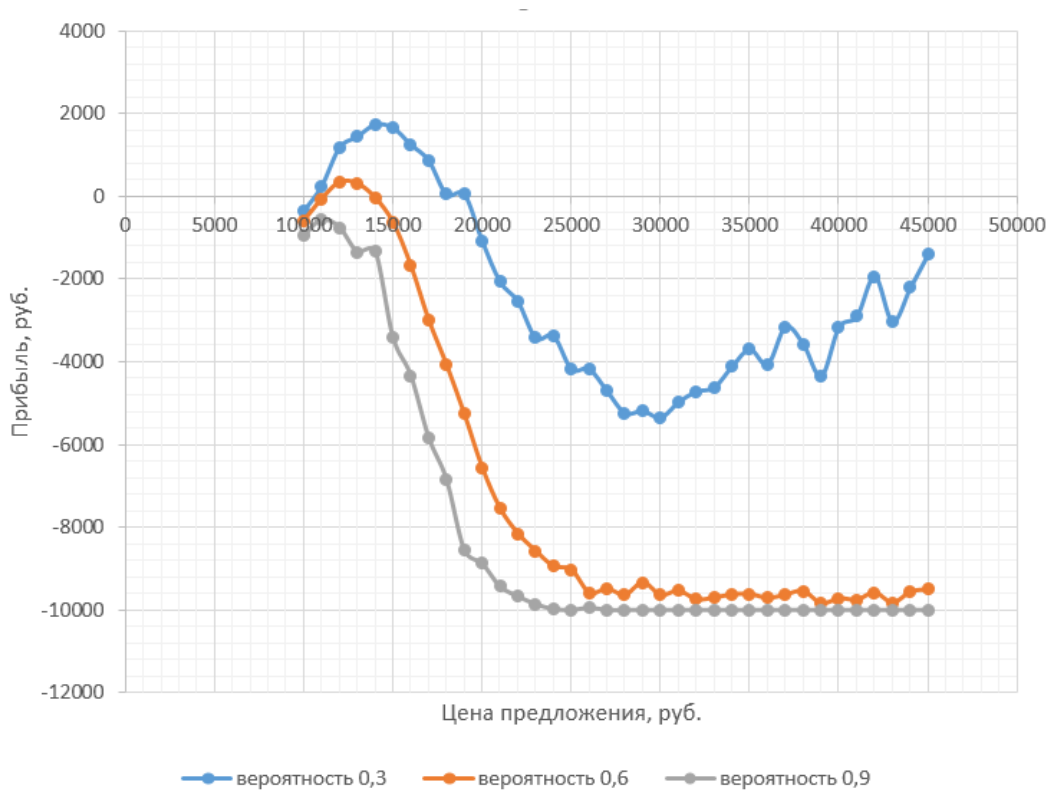


Рис. 104. Зависимость цены предложения от прибыли при разных уровнях вероятности появления 5 конкурентов на рынке

Как мы уже выяснили, такие субъекты отношений на рынке, как продавец и покупатель, взаимодействуют между собой в пределах ценовой мембраны, которая определяется совокупностью сведений о товарах на рынке (их свойства, количественные и качественные характеристики). При этом для множества покупателей и продавцов на рынке ценовая мембрана формируется асимметрично.

В качестве примера возьмем несколько товаров с одинаковыми техническими характеристиками (пусть это будут велосипеды одинакового типа, с одинаковым количеством скоростей, типом

тормозной системы, материалом рамы и т.д.), которые имеют разную цену и качество, так как производятся на различных заводах из различных комплектующих. Причем это качество будет субъективным, т.е. изначально определенным производителем. Также у товара на рынке обязательно будет сформировано объективное качество, которое дополнительно определяется покупателями на основании отзывов. В таблицах 33 и 34 приведены данные, связывающие различные ценовые категории товаров с одинаковыми характеристиками.

Таблица 33

Сводная таблица количества товаров по рейтингу продавцов

	Ценовая категория, руб.							Общий итог
	низкая		средняя			высокая		
рейтинг	10000-14999	15000-19999	20000-24999	25000-29999	30000-34999	45000-49999	50000-55000	
2	1							1
3	4			1				5
4	30	6	16	14	5	3		74
5	26	15	22	18	6	2	1	90
Общий итог	61	21	38	33	11	5	1	170

Таблица 34

Сводная таблица количества отзывов по рейтингу продавцов

	Ценовая категория, руб.							Общий итог
	низкая		средняя			высокая		
рейтинг	10000-14999	15000-19999	20000-24999	25000-29999	30000-34999	45000-49999	50000-55000	
2	162							162
3	223			12				235
4	225021	26898	115699	11055	3892	812		383377
5	177932	83740	128718	17601	6008	311	4312	418622
Общий итог	403338	110638	244417	28668	9900	1123	4312	802396

Предположим, что вы продаете велосипед, закупочная цена которого 10 тыс. руб. Разумеется, цена предложения должна быть выше с учетом некоторых рисков. Однако имеется N потенциальных конкурентов, реализующих аналогичные товары такой же ценовой категории. Таким образом, необходимо смоделировать ситуацию, когда в борьбу за покупателя могут вступить как N конкурентов, так и ни одного, то есть классическая ситуация теории игр [9].

Если конкурент подает предложение, то цена его предложения следует закону нормального распределения со средним значением, соответствующим средней цене в указанном ценовом диапазоне и стандартным отклонением $\sigma = (Q_{max} - Q_{min}) / 2$. Докажем, что выигрышной стратегией ценообразования будет являться самая низкая цена предложения.

Таким образом, можно обобщить последовательность действий формирования цены на однородном ассиметричном рынке.

1. Создание базы данных и генерация количества конкурентов в определенной ценовой категории. В таблице 33 представлены усредненные значения количества предложений по товарам с аналогичными характеристиками в различных ценовых категориях (исходная информация).

2. Моделирование предложения с помощью нормальной случайной величины для каждого потенциального конкурента (сбор информационных потоков).

3. Выявление уровня целевой цены однородного рынка. Под целевой ценой однородного рынка понимаем минимальную цену предложения.

4. Расчет прибыли от реализации товара с учетом цены предложения. Если цена самая низкая, то прибыль рассчитывается как цена предложения минус закупочная стоимость товара.

5. Для моделирования каждой возможной цены предложения в каждом ценовом диапазоне необходимо рассмотреть множество вариаций ситуации на рынке. Так, например, в Microsoft Excel это можно реализовать с использованием таблицы данных с двумя входами. В итоге необходимо выбрать цену предложения с наибольшим значением ожидаемой прибыли (выявление зависимости информационных потоков).

Результат моделирования оптимальной цены предложения в соответствии с указанной методикой в пакете Microsoft Excel для товара «велосипеды» в соответствии с таблицами 33 и 34 представлен на рисунке 105.

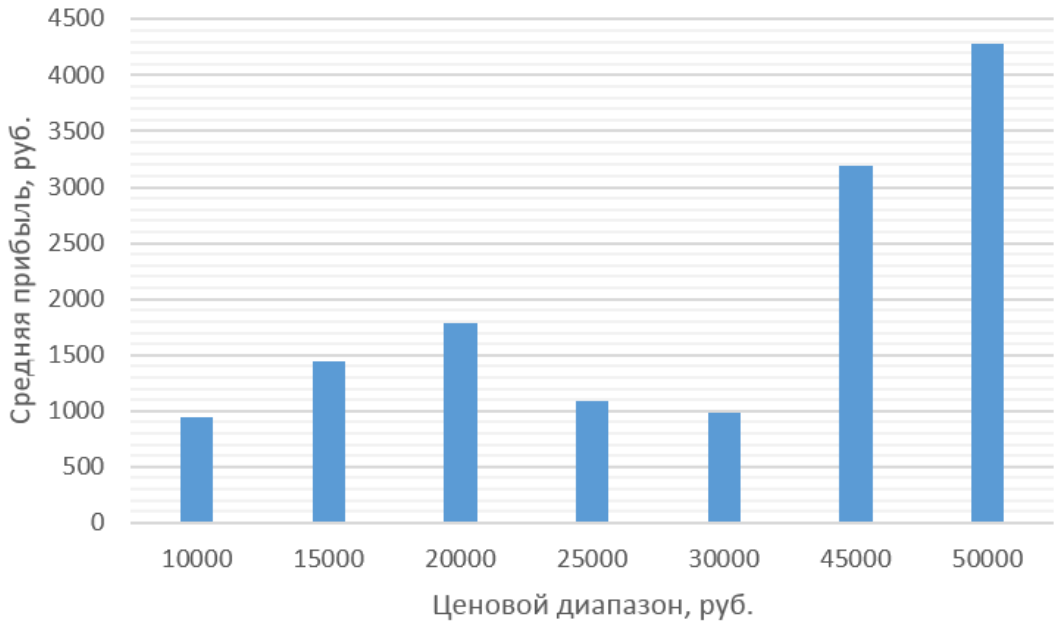


Рис. 105. Моделирование оптимальной цены предложения

На рисунке 105 представлена зависимость максимальной прибыли от ценового диапазона. На основании приведенных данных можно сделать вывод, что наиболее привлекательным с точки зрения максимальной прибыли являются верхние ценовые диапазоны. Однако форма зависимости, которая, по сути, представляет ценовую мембрану, является нелинейной, что обусловлено различным количеством предложений на рынке по каждому ценовому диапазону. Наименее привлекательным с точки зрения прибыли при сложившихся условиях на рынке является ценовой диапазон велосипедов в 30 тысяч рублей. На это оказывает влияние не столько присутствие конкурентов, сколько уровень спроса и количество отзывов на товар у покупателей.

Кроме того, несмотря на большое количество предложений на рынке в самом низком ценовом диапазоне не получится получить максимальную прибыль, продавая большое количество товаров. Наиболее привлекательным для продавца будет ценовой диапазон в 20 тыс. рублей, где значительно возрастает спрос на товары и имеется значительное количество отзывов потребителей, то есть присутствует информационная симметрия. Для прогнозирования таких продаж существуют методы [10, 11], позволяющие выполнить детальный технический анализ относительно устойчивости поведения временного ряда социально-экономического показателя, а также выстроить вероятностные прогнозы относительно изменения этих показателей в зависимости от сложившихся условий на рынке.

В результате исследования мы показали, что информационные потоки между субъектами рынка (продавцом и покупателями) являются зависимыми элементами. Два участника однородного рынка как владельцы информации (продавец и покупатель) аккумулируют информацию о товарном предложении и дают друг другу прямые сигналы (информация о цене) и обратную связь (отзывы потребителей). И в этом случае ключевой проблемой будет является проблема релевантности информационных потоков. При этом появление информационной асимметрии от владельца информации приводит к колебаниям на рынке, требующим отдельного изучения [12], изменениям правил принятия ценовых решений, и в конечном счете изменению финансового положения ключевых игроков.

4.2. Моделирование оптимальной цены предложения в контрактной системе государственных и муниципальных закупок

Одним из основных способов размещения заказов на поставки товаров, работ, услуг для государственных или муниципальных нужд (госзакупок) является аукционно-конкурсная форма размещения заказов на электронных площадках в сети «Интернет», что в результате оказывает значительное влияние на поведение заказчиков и поставщиков услуг в условиях перехода к цифровой экономике. Несмотря на то, что условия заключения сделки оговариваются заранее в представленной документации, поставщикам зачастую оказывается достаточно сложно сопоставить собственные возможности и конкурентные преимущества в борьбе за право заключения сделки. Это приводит как к снижению качества поставки товаров, работ, услуг для государственных или муниципальных нужд как в силу неоправданно низкой цены, к которой стремятся поставщики для того, чтобы выиграть тендер, так и к неоправданному завышению цены предложения с целью получения максимума прибыли, что не позволяет выиграть в торгах. Таким образом, на аукционе складывается информационная асимметрия [1], которая выражается в разной степени информированности заказчиков и поставщиков о состоянии рынка и намерениях друг друга. Однако каждый рынок стремится к устойчивому состоянию, в котором наблюдается различная степень информационной симметрии [2].

Таким образом, возникает проблема вероятностной оценки результатов аукциона с целью определения оптимальной ценовой политики поставщиков, а также принятия решений участия или отказа от участия в аукционе. Одним из способов решения данной проблемы является применение методов математического моделирования поведения участников аукциона [9].

При определении цены в борьбе с конкурентами за право реализации того или иного проекта двумя основными источниками неопределенности являются количество конкурентов и цены, предлагаемые каждым конкурентом. При высокой цене предложения можно заработать на реализации выигранного тендера много денег, но высока вероятность проиграть другим конкурентам по цене. При низкой же цене предложения высока вероятность выиграть аукцион, но это принесет минимум прибыли и, возможно, приведет к определенным рискам (например, при удорожании проекта). Оптимальная цена предложения находится где-то посередине. Удобным инструментом для определения цены предложения, максимально увеличивающей ожидаемую прибыль, является имитационное моделирование по методу Монте-Карло [6], использующему численный метод решения математических задач при помощи моделирования случайных величин.

В качестве примера рассмотрим, как с помощью моделирования определить оптимальную цену предложения для проекта при участии в аукционе на строительство. Предположим, что строительная компания участвует в тендере на проект строительства объекта, который будет стоить для компании 25 млн. рублей (то есть компания сможет построить его за такие деньги). Разумеется, в документах на торгах необходимо указать цену предложения выше, чтобы получить прибыль, учесть некоторые риски и создать «запас» для снижения цены при проведении аукциона. Кроме того, подготовка самого коммерческого предложения на получение права для участия в торгах, возможно, тоже будет стоить для компании некоторой суммы денег. Пусть это будет стоить 10 тыс. рублей.

Однако у компании имеется несколько (например, шесть) потенциальных конкурентов, и руководство компании считает, что с вероятностью 50 % каждый конкурент примет участие в аукционе на проект. Таким образом, необходимо смоделировать ситуацию, когда в тендере могут принять участие как все 6 конкурентов, так и ни одного, т.е. смоделировать намерения конкурентов.

Предположим, что если конкурент подает предложение, то цена его предложения следует нормальному закону распределения с математическим ожиданием в 50 млн. рублей и стандартным отклонением 10 млн. рублей. Условимся также, что свое предложение компания подготавливает с ценой, кратной 1 млн. рублей. Шаг изменения цены можно при необходимости уменьшить или увеличить. Таким образом, необходимо подсчитать, какова должна быть цена предложения компании для получения максимальной ожидаемой прибыли. Разумеется, в торгах выигрывает самая низкая цена предложения.

Для решения данной задачи предлагается использовать следующую методику моделирования ценовой политики компании для участия в торгах.

1. В качестве входных данных необходимо определить себестоимость проекта, количество возможных конкурентов и их намерения – вероятности их участия в торгах. Для этого, к примеру, можно провести анализ по аналогичным аукционам, которые проводились за предыдущие периоды времени. Самым сложным вопросом является оценка намерений конкурентов, поэтому данный вопрос в работе будет исследован подробно.

2. Для каждого потенциального конкурента, который действительно подает предложение, необходимо смоделировать цену предложения с помощью нормальной случайной величины. Если потенциальный конкурент не подает свое предложение на аукцион, то для него можно назначить значительно большую цену предложения (в нашем случае, например, 100 млн. рублей), которая обеспечит ему поражение.

3. Необходимо определить, является ли цена предложения вашей компании самой низкой. Если компания предлагает самую низкую цену, то она получит прибыль, равную предложению минус стоимость проекта минус 10 тыс. рублей (стоимость подготовки и подачи коммерческого предложения). Если цена предложения компании не самая низкая, то компания потеряет 10 тыс. рублей — стоимость подготовки предложения.

4. Для моделирования каждой возможной цены предложения (например, 30 млн. руб., 31 млн., ..., 60 млн.) необходимо многократно моделировать (сымитировать) ситуацию, которая может сложиться при проведении аукциона для различной цены предложения, и затем выбрать цену предложения с наибольшей ожидаемой прибылью. Таким

образом на основании построенной модели многократно проигрываются различные случайные сценарии прохождения аукциона, на основании которых оцениваются характеристики полученной выборки.

Программное решение поставленной задачи было выполнено с применением инструментария работы с данными пакета Microsoft Excel.

	A	B	C	D	E	F	G
1				Стоимость проекта	25000000		
2				Стоимость предложения	10000	Случайное число	
3				Количество предложений	4	0,672516996	
4				Предложение компании	30000000		
5							
6							
7							
8				Номер конкурента	Участие	Предложение	Случайное число
9				1	да	59954990,99	0,840253209
10				2	да	43132052,16	0,246106029
11				3	да	59410501,24	0,826660413
12				4	да	46626422,53	0,367923616
13				5	нет	100000000	0,643500911
14				6	нет	100000000	0,913535312
15							
16				Победа?			
17				да			
18				Прибыль			
19				4990000			

Рис. 106. Исходные данные и модель цены предложения

Количество благоприятных исходов при n независимых испытаниях, каждое из которых имеет вероятность благоприятного исхода, равную p, моделируется на основе биномиального закона распределения в ячейке E3 (рисунок 106). Это позволяет смоделировать количество конкурентов, участвующих в торгах, при этом задается их максимальное количество (6), вероятность участия каждого конкурента в торгах (0,5) и значение критерия α (уровень доверия – вероятность допустить ошибку 1-го рода при проверке статистической гипотезы), которое задается случайным числом с равномерным распределением вероятностей.

Предложение для каждого конкурента (конкурентам, не подающим предложение, назначается цена предложения 100 млн. рублей) случайно генерируется на основе нормального закона распределения с заданным математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением, затем в ячейке D17 определяется, является ли предложение вашей компании предложением с

наименьшей ценой, выигравшим проект. В свою очередь в ячейке D19 вычисляется прибыль (или убытки) в случае выигрыша (проигрыша). Именно этот результат и является исходным параметром для дальнейшего моделирования.

Далее с помощью инструмента Excel «таблицы данных с двумя входами» можно смоделировать по одной тысяче предложений для цен от 25 до 60 млн. руб. с шагом в 1 млн. руб. В качестве переменной в таблице данных, подставляемой по столбцам, используется цена предложения компании, записанная в ячейке E4. Дело в том, что для метода Монте-Карло ошибка вычислений [13], как правило, пропорциональна $\sqrt{1/N}$, где N – количество испытаний, поэтому при решении данной задачи с достаточной долей точности необходимо большое количество испытаний, которое с легкостью может быть реализовано на вычислительных мощностях современных персональных компьютеров. Таким образом, и прибыль для каждого предложения будет смоделирована как минимум тысячу раз, после чего подсчитывается среднее значение прибыли, полученной за тысячу испытаний [8].

C	D	E	F	G	H	I	J	K
	среднее	-10000	966000	1938000	2873000	3802000	4680000	5450000
	4990000	25000000	26000000	27000000	28000000	29000000	30000000	31000000
		-10000	990000	-10000	2990000	3990000	4990000	5990000
		-10000	990000	-10000	-10000	3990000	4990000	-10000
		-10000	990000	1990000	2990000	3990000	4990000	-10000
		-10000	990000	1990000	2990000	3990000	4990000	5990000
		-10000	990000	1990000	2990000	3990000	4990000	5990000
		-10000	990000	1990000	2990000	3990000	4990000	5990000
		-10000	990000	1990000	2990000	3990000	4990000	5990000
		-10000	990000	1990000	2990000	3990000	-10000	5990000
		-10000	990000	1990000	2990000	3990000	4990000	-10000
		-10000	990000	1990000	2990000	3990000	4990000	5990000
		-10000	990000	-10000	2990000	3990000	4990000	5990000
		-10000	990000	-10000	2990000	3990000	4990000	5990000
		-10000	990000	1990000	2990000	3990000	4990000	5990000
		-10000	990000	1990000	2990000	3990000	4990000	5990000

Рис. 107. Моделирование тысячи реализаций предложений (часть данных скрыта)

В итоге необходимо вычислить среднюю прибыль для каждого ценового предложения. Распределение прибыли для тысячи испытаний имеет максимум для цены предложения 38-42 млн. рублей (рисунок 108), при этом средняя ожидаемая прибыль будет составлять свыше 9 млн. рублей. Это не означает, что, установив эту цену, компания получит именно такую прибыль, однако это наиболее вероятный уровень прибыли.

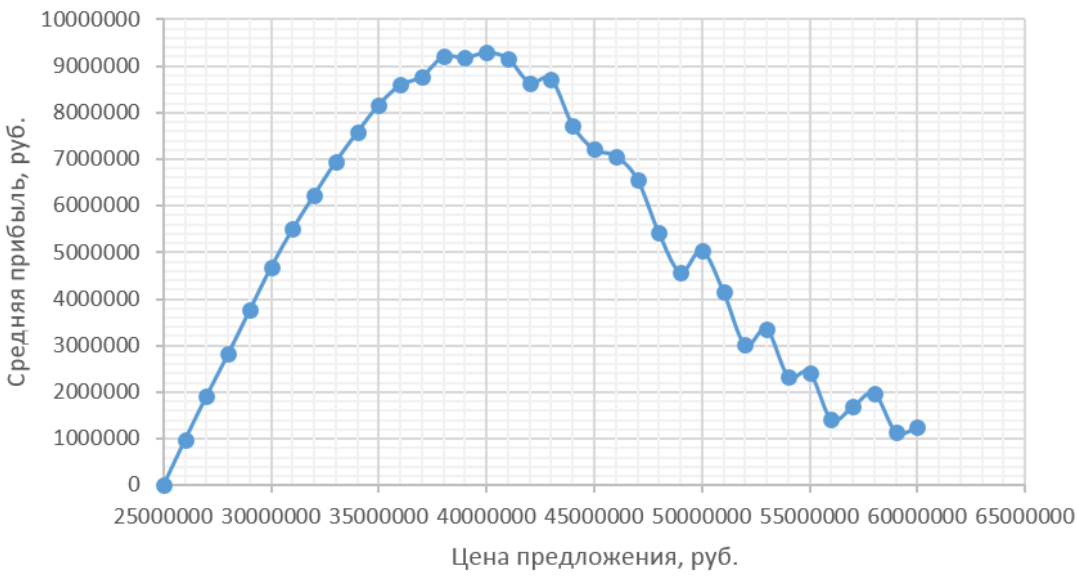


Рис. 108. Зависимость средней прибыли от цены предложения на аукционе

Нестабильный осциллирующий характер полученной экспериментальной кривой объясняется тем, что при высоких значениях цены предложения увеличивается вероятность появления большого количества конкурентов и в результате ожидаемая прибыть носит более вероятностный характер.

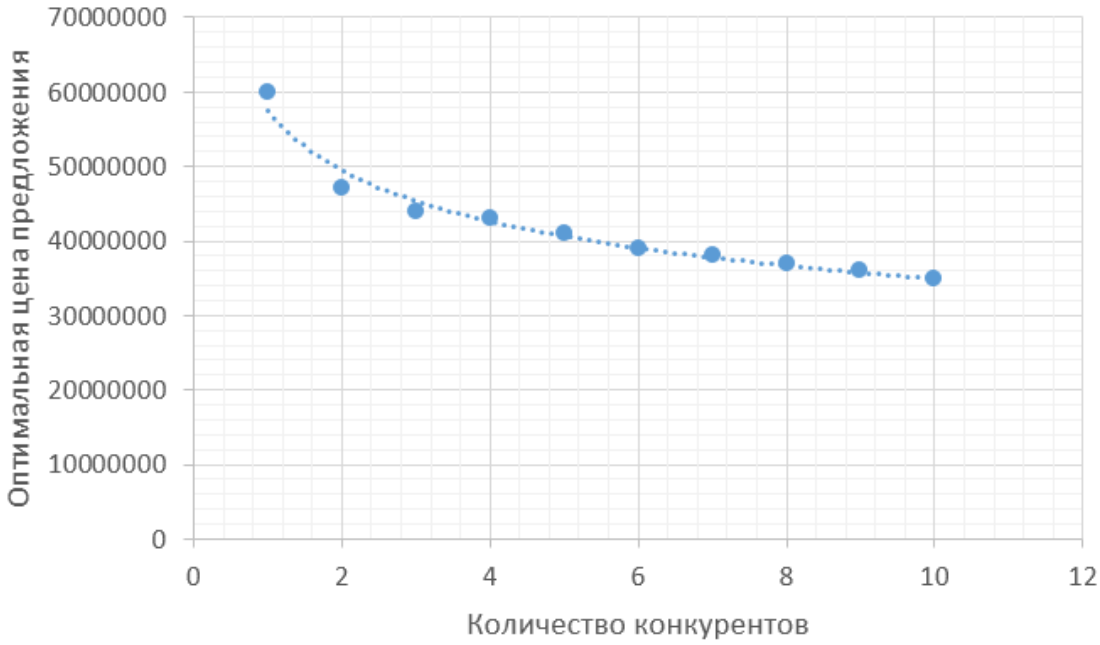


Рис. 109. Зависимость оптимальной цены предложения от количества конкурентов

Кривая на рисунке 108 позволяет легко оценить статистические характеристики [13] поведения участников аукциона [10]. Однако необходимо рассмотреть ситуацию, когда количество участников будет изменяться. Если рассматривать зависимость оптимальной цены предложения от количества конкурентов (рисунок 109), то она будет иметь степенной характер, т.е. при небольшом количестве конкурентов появляется вероятность получить большую прибыль, но при этом оптимальная цена предложения будет изменяться в широком диапазоне и вероятность риска увеличивается. При увеличении же количества конкурентов оптимальная цена предложения снижается, равно как и снижается вероятность риска при неправильной ее оценке.

Немаловажным фактором при оценке рисков является вероятность удорожания или удешевления проекта, однако оптимальная цена предложения зависит от стоимости проекта линейно (рисунок 110).

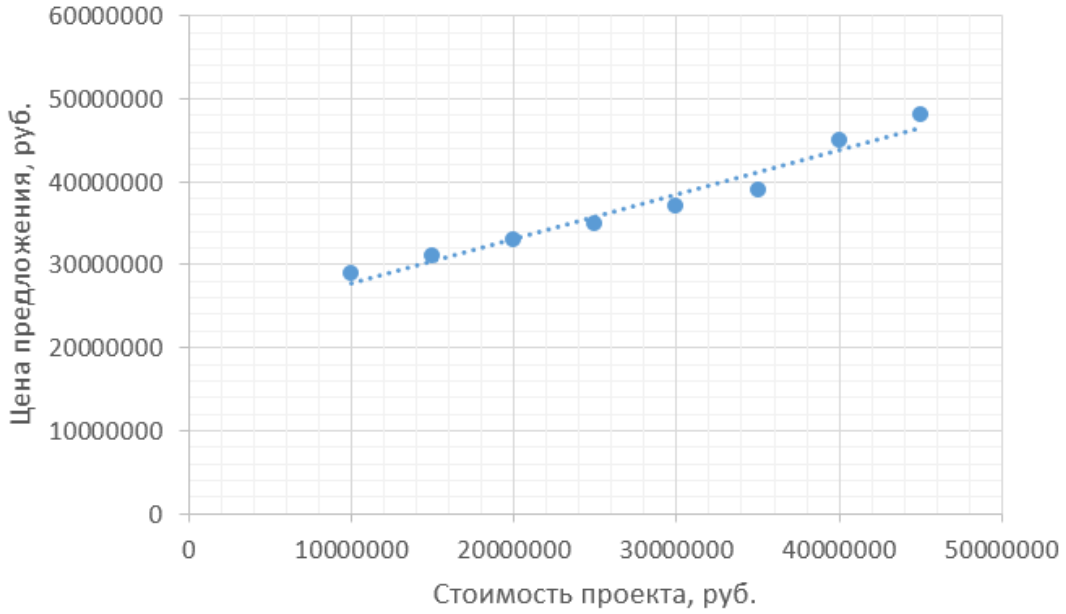


Рис. 110. Зависимость оптимальной цены предложения от стоимости проекта

Еще одним ключевым фактором при оценке оптимальной цены предложения является вероятность участия конкурентов в торгах. На рисунке 111 приведены графики зависимости цены предложения от прибыли при разных уровнях вероятности (намерений) участия конкурентов в аукционе. При увеличении такой вероятности ожидаемая прибыль значительно снижается по причине того, что компания будет вынуждена снизить оптимальную цену предложения для увеличения вероятности победы в торгах. По пиковому значению прибыли можно сделать вывод о том, получит ли вообще компания доход при удорожании проекта (рисунок 112).

Кроме того, данная модель позволяет задать вероятность участия в торгах каждого отдельно взятого конкурента, в таком случае данные кривые приобретут еще более асимметричный характер.

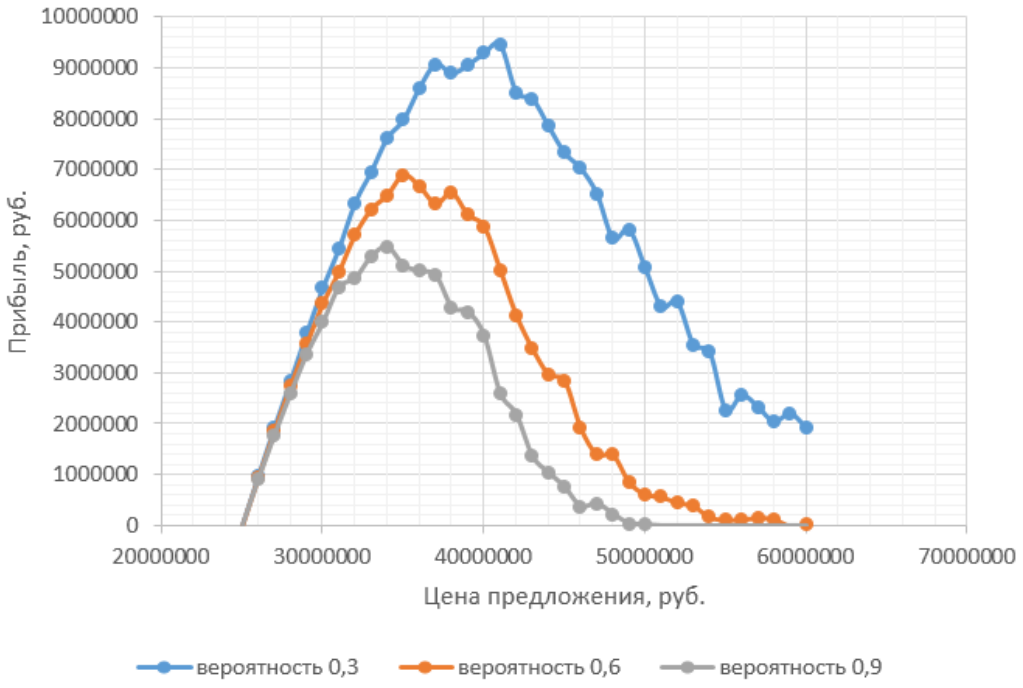


Рис. 111. Зависимость цены предложения от прибыли при разных уровнях вероятности участия 10 конкурентов в аукционе

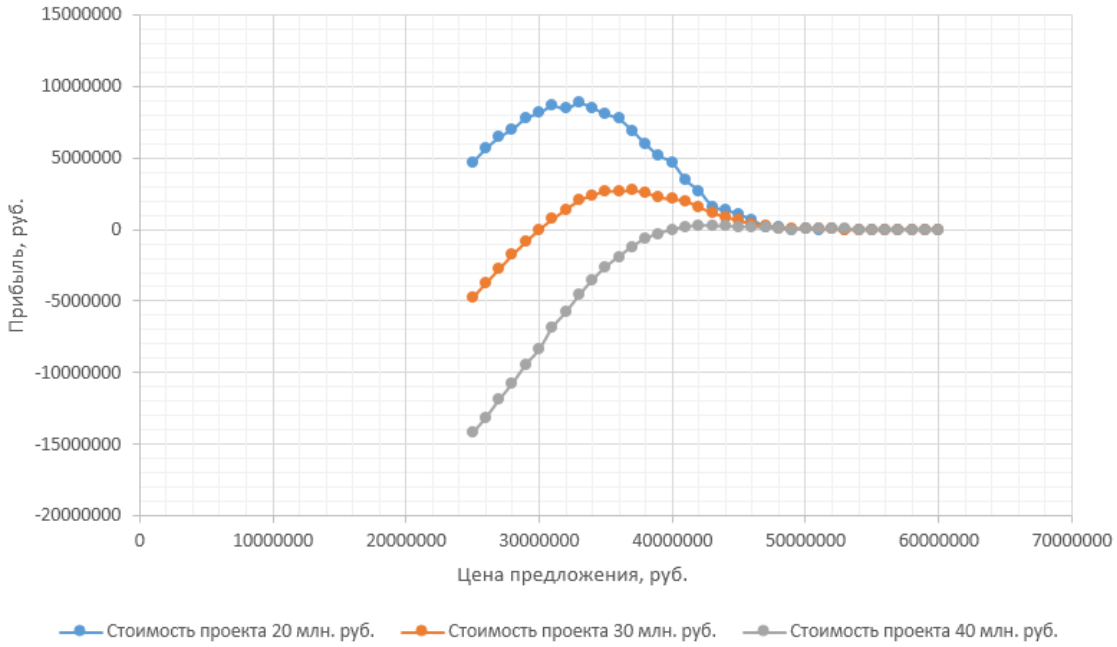


Рис. 112. Зависимость прибыли от цены предложения при удорожании проекта

Из рисунка 112 видно, что если произойдет удорожание проекта, то, разумеется, компания будет вынуждена поднять цену предложения, при этом снижается прибыль и увеличивается значение оптимальной цены предложения по проекту. При определенных условиях может создаться такая ситуация, что компания вообще не получит прибыли. По данному пороговому значению стоимости проекта можно принять решение об отказе компании от участия в тендере.

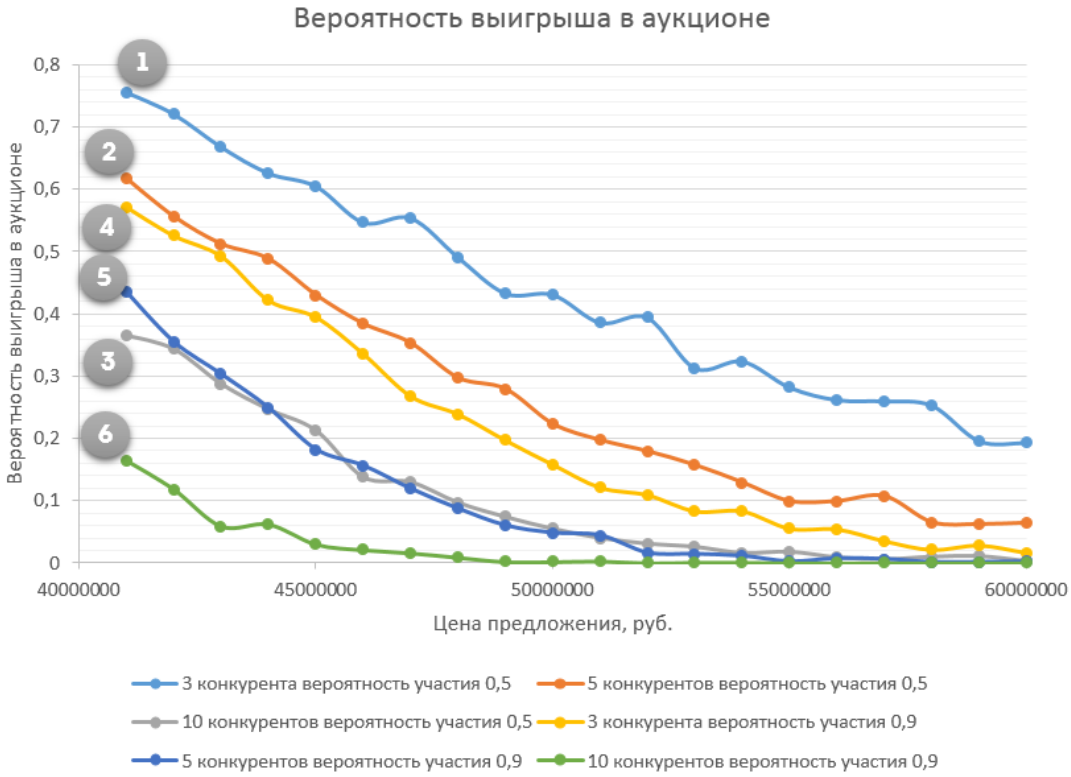


Рис. 113. Зависимость вероятности получения прибыли от цены предложения при различном количестве конкурентов и вероятностях их участия в аукционе

В итоге полученная модель позволяет выстроить вероятностные высказывания относительно цены предложения и вероятности получения прибыли (рисунок 113). Полученное семейство кривых позволяет выбрать стратегию поведения участника аукциона в зависимости от сложившихся обстоятельств. Часть кривых на рисунке 113 под номерами 1-3 характеризуются разным количеством конкурентов при вероятности их участия на уровне 0,5, кривые 4-6 отражают вероятности участия при таком же количестве конкурентов, но уже при вероятности их участия 0,9. Пороговым значением

прибыльности является цена, равная себестоимости проекта. Снижение вероятностей при увеличении цены предложения предсказуемо, однако вкупе с вышеуказанной методикой позволяет оценить тот ценовой порог, при котором можно наиболее эффективно использовать сложившиеся условия. При необходимости можно провести более детальный технический анализ [11] полученной по методу Монте-Карло выборки исходов сценариев проведения аукциона и прогнозирование возможной прибыли [12].

Таким образом на основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что построенная имитационная модель, включающая основные факторы, влияющие на оптимальную цену предложения, позволяет адекватно оценить возможности участия поставщиков товаров, работ и услуг для государственных или муниципальных нужд в электронных торгах и принимать эффективные управленческие решения по участию в закупках. Построенная модель отличается простотой и эффективностью исполнения, не требует специального программного обеспечения, при этом позволяет анализировать внутренние возможности и внешние условия участия организации в электронном аукционе с дальнейшим прогнозированием рисков и ожидаемой прибыли.

4.3. Метод виртуального увеличения выборки при прогнозировании редких продаж в условиях информационной асимметрии

В процессе принятия оптимальных управленческих решений наибольший интерес представляет эффективное решение задач прогнозирования, которое позволяет существенно сэкономить материальные, временные и человеческие ресурсы. При этом методы прогнозирования зачастую основаны на ретроспективных данных о результатах и показателях ведения хозяйственной деятельности экономического субъекта, а точнее на выборке этих показателей за определенный период времени.

Для реализации известных методов прогнозирования исходная информация должна отражать наиболее характерные черты изучаемой совокупности социально-экономических явлений, процессов или показателей, а число наблюдений должно быть достаточно большим [14].

Однако зачастую возникают такие ситуации, когда для выполнения последующего точного прогноза и анализа недостаточно объема данных выборки, но при этом необходимо построить вероятностные высказывания на основе ретроспективных данных. В этом случае используются инструментальные методы виртуального увеличения объема выборки [15].

Целью исследования является разработка методики прогнозирования редких продаж товаров с использованием методов виртуального увеличения статистической выборки на основе модели поведения участников рынка в условиях информационной асимметрии.

К одному из наиболее популярных и несложных подходов по увеличению объема выборки относится процедура «бутстреппинга» [4, 15], который позволяет строить эмпирическое распределение вероятностей случайных событий, необходимое для оценки точности выборочного параметра с использованием случайного возврата значений из имеющегося набора данных.

При проведении такой процедуры истинное распределение заменяется выборочным, и вместо истинных параметров необходимо использовать данные по полной выборке. Кроме того, полученный расширенный набор случайных значений позволяет более точно проверить разработанную социально-экономическую модель.

Рассмотрим возможности увеличения объема выборки на примере оценки неопределенности объема будущих продаж и экономических рисков в условиях асимметрии информации на рынке.

В качестве примера возьмем рынок новых автомобилей и проанализируем объёмы продаж за определенный период времени. Зачастую автодилеру необходимо выстроить прогноз продаж каждой марки и/или модели автомобиля, к примеру, на два квартала вперед. Для сравнения возьмем три популярные в России модели марки Lada: Vesta, Granta и Largus. Выборка по объемам продаж этих трех моделей с января 2016 г. и по декабрь 2018 г. приведена на рисунке 114. На основе этих данных можно рассчитать измерение объема продаж как отношение разности продаж в конце текущего и в конце предыдущего месяца к объему продаж в конце предыдущего месяца.

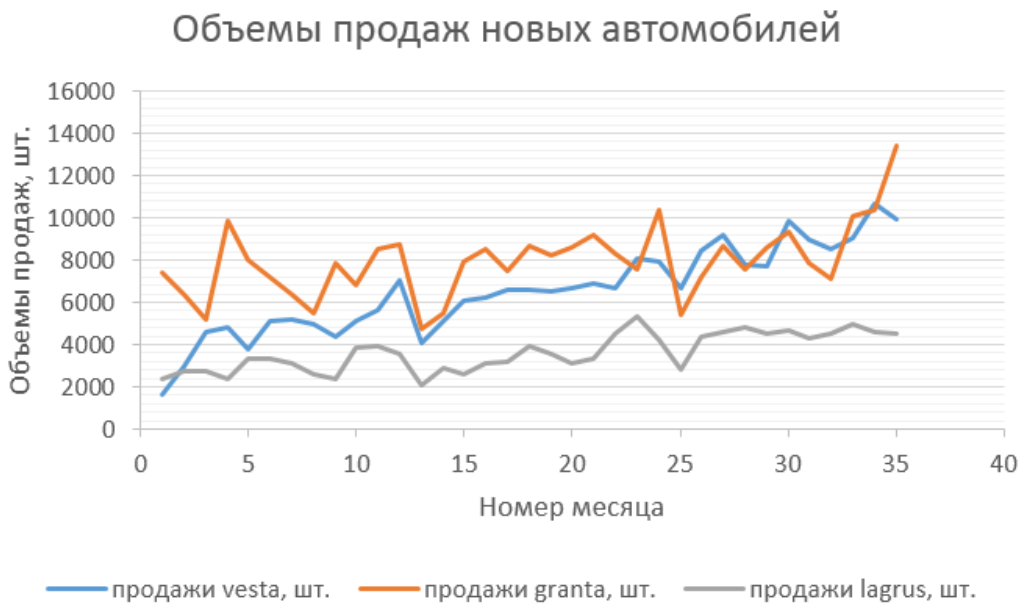


Рис. 114. Объемы продаж новых автомобилей трех марок

Для выполнения качественного прогноза необходимо исследовать структуру временного ряда, выбрать трендовую модель, проверить ее на адекватность, исследовать точностные характеристики и т. д. Бутстреппинг же позволяет без построения прогнозной модели сделать вероятностные высказывания относительно изменения интересующей величины. Рассмотрим, как применяется метод бутстреппинга для краткосрочного прогнозирования редких продаж с использованием инструментария электронных таблиц [4, 5].

Идея прогнозирования заключается в имитации возможных сценариев поведения кривой продаж, которые берутся из исходного набора данных за 36 месяцев. Причем применение сценария для каждого последующего периода прогнозирования также выбирается из исходного набора. Точкой отсчета для прогноза является значение показателя в конце последнего периода исходных данных. Итак, стоит задача выстроить вероятностные высказывания относительно снижения/роста продаж автомобилей через 2 квартала. Во-первых, необходимо указать начальный объем продаж для каждой модели авто (ячейка N10 на рисунке 115). Во-вторых, смоделировать повторение сценария за месяцы 1-36 в ячейках Q10:Q15. Причем сценарии по месяцам могут повторяться неоднократно. В ячейках R10:R15 указаны сценарии роста или снижения продаж в соответствии с номером месяца из исходной выборки, так, например, во втором месяце (февраль 2016 г.) наблюдался рост продаж модели Lada Vesta на 79,9 % (рисунок

115). Это с связано с выходом данной модели на рынок и повышенным интересом покупателей. Объем продаж в конце указанного периода увеличивается/уменьшается в соответствии с возвращенным из исходной выборки сценарием. Объем продаж в начале следующего периода равен объему продаж в конце предыдущего (рисунок 115, а). Таким образом можно определить объем продаж на несколько периодов вперед.

	M	N	Q	R	U
9	Месяц прогноза	начальный объем продаж vesta, шт.	Сценарий по месяцу №	снижение/рост продаж vesta, %	конечный объем продаж vesta, шт.
10	1	9803	3	0,55499154	15243,58206
11	2	15243,58206	5	-0,221738229	11863,49718
12	3	11863,49718	7	0,013650546	12025,44039
13	4	12025,44039	30	0,282809853	15426,35342
14	5	15426,35342	24	-0,013761468	15214,06415
15	6	15214,06415	23	0,216774777	18512,08953

а

	M	N	O
18	Итерация	конечный объем продаж vesta, шт.	снижение/рост продаж vesta, %
19	1	12102,07266	0,234527457
20	2		-0,152874527
21	3		1,108537258
22	4		-0,095317694
23	5		0,907974088
24	6		1,097977381
25	7		1,979604093
26	8		-0,132655875
27	9		-0,15559521
28	10		-0,637774514
29	11		0,210275638

б

Рис. 115. Вероятностные высказывания относительно снижения/роста продаж автомобилей через 2 квартала: а – модель снижения/роста продаж на 6 периодов вперед; б – выборка повторения сценариев через 6 месяцев на 1500 значений (часть данных скрыта)

Затем можно непосредственно перейти к самому процессу виртуального увеличения выборки. Для этого необходимо сгенерировать большое количество сценариев объема продаж через 6

месяцев (рисунок 115, б). Конечный объем продаж берется на конец 6-го месяца из ячейки U15 на рисунке 115, а, и затем для взятого значения прорабатываются 1500 сценариев изменения объема продаж (этого объема достаточно для получения приемлемого уровня точности прогноза). На основании полученного расширенного массива сценариев выполняется анализ статистических показателей и строятся вероятностные высказывания. Например, если необходимо подсчитать вероятность роста продаж, то для этого достаточно из полученного массива на 1500 сценариев подчитать значения снижения/роста продаж, которые больше нуля, и поделить на общий объем расширенной выборки (1500 отсчетов). Если брать вероятность реализации любого сценария из выборки за единицу, то полученный показатель, будет отражать вероятность положительного исхода события, т.е. роста продаж, и, например, для модели Lada Vesta будет составлять 74 %. При этом в среднем в последующие 6 мес. будет наблюдаться рост продаж данной модели в среднем на 50 % с среднеквадратичным отклонением, равным 76 %. Это означает, что, вероятнее всего, если закупить большую партию автомобилей, то их удачно удастся реализовать, но при этом высока вероятность риска, мерой которого является среднеквадратическое отклонение.

Вероятностные высказывания на основе увеличенной выборки для автомобилей трех марок показаны на рисунке 116.

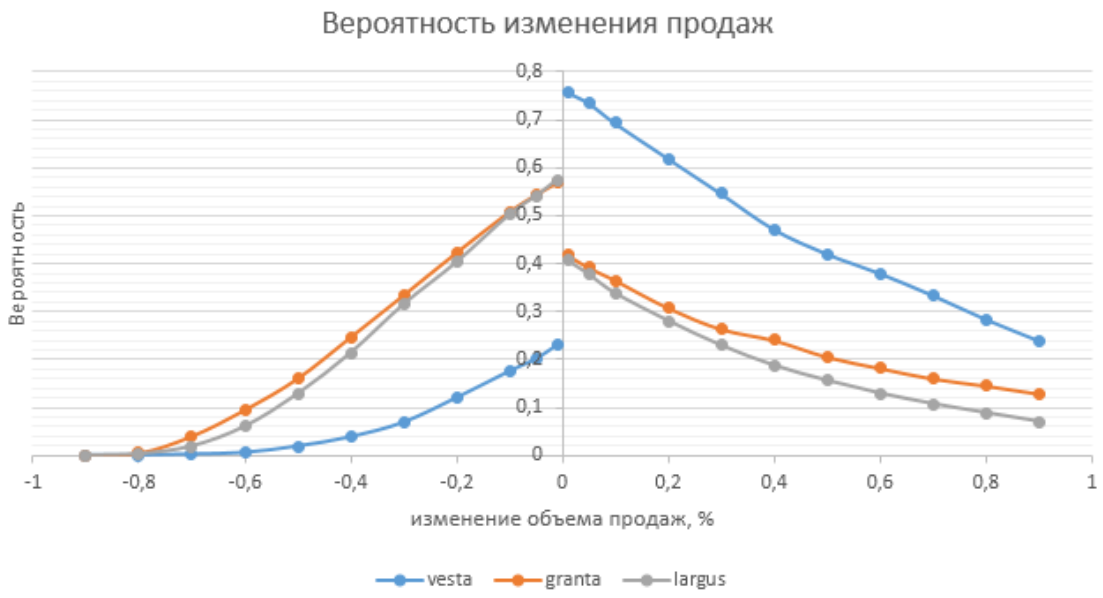


Рис. 116. Вероятность изменения объема продаж для трех моделей авто

Из рисунка 116 видно, что большую вероятность положительной динамики продаж показывает модель Vesta, при этом у нее же

наблюдаются наименьшие показатели уровня вероятности снижения объемов продаж. Несмотря на то, что модели Granta и Largus показывают практически идентичную отрицательную динамику продаж, то в отношении вероятностных высказываний относительно роста продаж, особенно в больших объемах, Granta показывает лучшие результаты. Это позволяет сделать соответствующие аналитические выводы относительно количества закупаемых у завода под реализацию автомобилей. Следует отметить, что все три модели имеют положительную динамику продаж. Однако модель Lada Largus показывает более стабильные характеристики относительно прогнозных значений продаж (таблица 35), хотя и средний ежемесячный прирост продаж этой модели этой невелик – 1,8 %, в отличии от Granta – 10,4 % и Vesta – 53,4 %.

Таблица 35

Показатели динамики объема продаж автомобилей

Модель авто	Среднее изменение объема продаж, %	СКО (мера риска), %
Vesta	0,534	0,767
Granta	0,104	0,763
Largus	0,018	0,548

Идею бутстреппинга можно применить также при реализации модели поведения продавцов и покупателей на рынке. Рассмотрим статистику продаж среднего автосалона, который работает на региональном уровне. Кроме него на рынке могут присутствовать несколько автодилеров, предлагающих аналогичную продукцию. Причем в общем случае это могут быть как авто этой же марки, так и аналоги от других производителей, и потребитель в итоге решает для себя, какую продукцию выбрать, и, разумеется, главным критерием выбора является соотношение цена/качество. Качество продукта – показатель достаточно условный, носит интегральный характер, а вот цена является точно измеряемым показателем, который можно смоделировать. И здесь для продавца важно знать оптимальную цену предложения, которая и определяет эффективность продаж.

Построить модель, позволяющую определить оптимальную цену предложения, можно на основе метода Монте-Карло [6, 7]. Входными данными для модели являются:

– себестоимость продукции для дилера (в нашем случае это отпускная цена завода за автомобиль);

– максимальное количество конкурентных предложений;

– вероятность появления конкурентных предложений;

– цена предложения дилера за авто. Разумеется, большинство официальных дилеров автомобилей работают по схеме, когда авто предлагается по цене завода, но с дополнительным оборудованием, которое увеличивает его стоимость, поэтому здесь имеется в виду реальная стоимость, за которую дилер предлагает авто к продаже.

При этом реальное количество конкурентных предложений на рынке, которым отдает предпочтение отдельно взятый покупатель, неизвестно и подчиняется биномиальному закону распределения вероятностей. В модели задается максимальное количество конкурентных предложений, вероятность предпочтения покупателя: этот параметр предполагает, что не всем покупателем нравятся все предложения в городе, обычно они ограничиваются 3-5 предложениями, из которых выбирают по соотношению цена-качество, поэтому данный параметр можно установить на уровне 0,5. Этот показатель по смысловому выражению можно определить, как уровень безразличия предпочтений покупателей, т.е. чем выше этот показатель, тем выше вероятность того, что покупателю для выбора по цене подходит больше конкурентных предложений. Это означает, что, например, из 10 аналогичных предложений средний покупатель выберет 5, которые подходят ему по качеству, и дальше будет руководствоваться соображениями стоимости. Выигрышным окажется вариант, который при приемлемом для покупателя уровне качества окажется самым дешевым. Значение критерия α для биномиального распределения позволяет смоделировать случайное поведение покупателей и задается случайным числом с равномерным распределением вероятностей.

Таким образом в каждом отдельном случае проигрывается сценарий поведения покупателя по выбору им автомобиля с устроившими его характеристиками (напомним, что сюда может входить и дополнительное оборудование, подарки, скидки, акции и т.д.) по минимальной цене. Если такой случай произошел, то дилер получает прибыль в размере разности себестоимости и установленной им цены. Если же предложение дилера оказалось не выгодным для покупателя, то дилер не получит прибыли. Теперь остается только понять, для какой цены предложения вероятнее всего будет принято решение о покупке авто у интересующего нас дилера с учетом максимального увеличения прибыли. Для этого, как и в предыдущем случае, можно использовать также таблицу сценариев [4, 5].

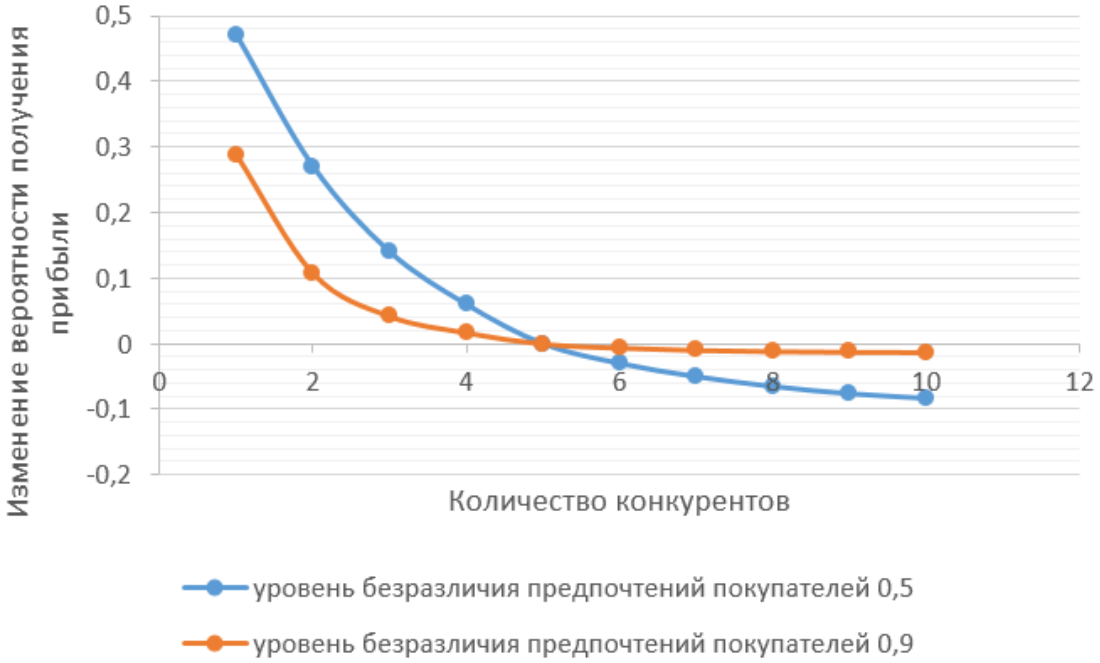
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
36	баланс вероятностей											вероятность
37	авто продан	0	0,353211009	0,305045872	0,224771	0,183486	0,162844	0,178899	0,112385	0,105505	0,06422	0,169036697
38	авто не продан	1	0,646788991	0,694954128	0,775229	0,816514	0,837156	0,821101	0,887615	0,894495	0,93578	0,830963303
39												
40	средняя ожидаемая прибыль	-3612,385321	353,2110092	3355,504587	4720,183	5688,073	6676,606	9123,853	6855,505	7490,826	5201,835	
41					ЦЕНА ПРЕДЛОЖЕНИЯ							
42	0	575000	585000	595000	605000	615000	625000	635000	645000	655000	665000	
43		-9000	0	0	0	0	0	0	0	71000	0	
44		-9000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45		0	1000	0	21000	0	0	0	0	0	0	
46		0	0	0	0	0	0	0	0	71000	0	
47		0	1000	0	0	0	0	51000	0	0	0	
48		-9000	1000	0	21000	0	41000	51000	61000	0	0	
49		-9000	0	11000	21000	0	0	51000	0	0	0	
50		-9000	0	11000	0	31000	0	51000	0	0	0	
51		0	1000	0	0	0	0	51000	61000	0	0	
52		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
53		-9000	0	11000	0	0	0	0	0	0	0	
54		-9000	0	11000	0	0	0	0	0	0	0	
55		0	1000	0	21000	0	41000	0	0	0	0	
56		-9000	0	0	21000	0	0	0	0	0	0	
57		0	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	
58		0	0	0	21000	0	0	0	0	71000	0	
59		0	0	11000	0	31000	0	51000	0	0	0	

Рис. 117. Таблица сценариев поведения покупателей при разной цене предложения (часть данных скрыта)

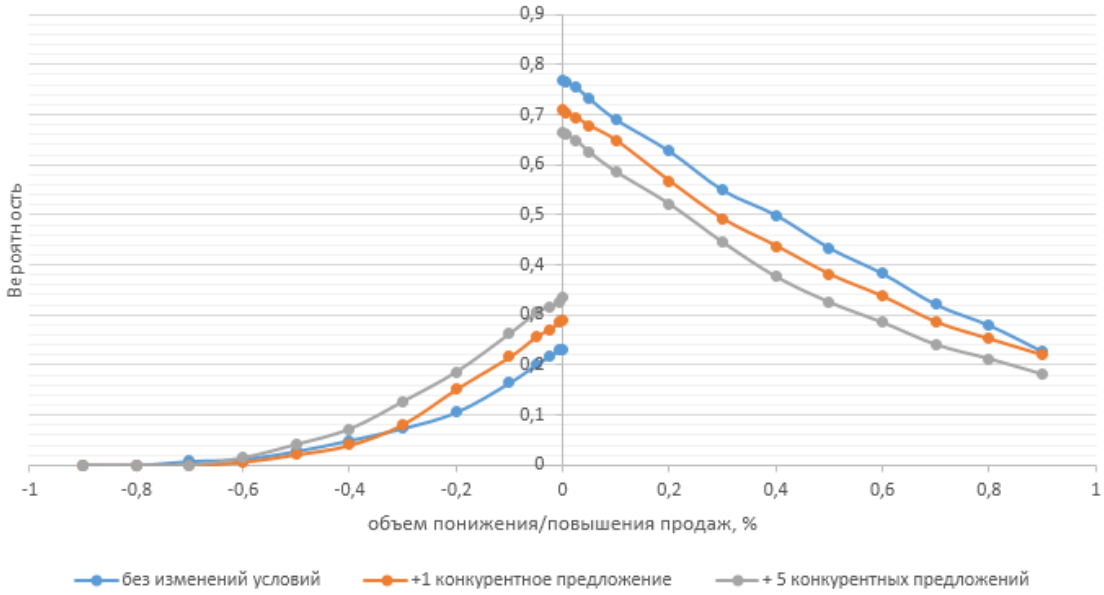
На рисунке 117 изображена таблица результатов исхода 1000 сценариев покупки авто при различной цене предложения. При этом наибольшая средняя ожидаемая прибыль в указанном случае соответствует цене предложения 635 тыс. рублей. Данная цена может меняться при изменении условий на рынке. Это может произойти как в результате сговора продавцов, так и в результате появления у покупателей информации о низком качестве товара и т.д. В любом случае такая ситуация приведет к появлению рыночной асимметрии, которая нарушит баланс спроса и предложения на рынке и обеспечит неравномерное распределение между участниками рынка информации об условиях осуществления рыночной сделки и намерениях друг друга. На самом деле такие ситуации часто случаются, их сложно предугадать, но вероятность их появления и степень их влияния на ключевые показатели поведения социально-экономической системы учесть можно.

Рассмотрим пример, когда на рынке появляется больше конкурентных предложений. Так, с учетом популярности модели Lada Vesta в регионе может появиться еще один дилер, который предоставит аналогичный авто к продаже ориентировочно по известной нам цене. Это неизбежно приведет к конкурентной борьбе. Если конкурентных предложений будет слишком много, то каждый из дилеров будет терпеть убытки, и в итоге кто-то из них уйдет с рынка, что снова приведет его к равновесному состоянию [1, 2]. Однако с учетом инерционности социально-экономических систем для этого нужно

время. Задача интересующего нас дилера – своей ценовой политикой не допустить снижения своих позиций на рынке.



а



б

Рис. 118. Вероятность получения прибыли при изменении: а – количества конкурентов; б – условий на рынке

Для решений этой задачи необходимо скорректировать прогноз с учетом изменившихся условий. Это также относится и к рынку авто по всей стране, когда конкурирующий производитель выводит на рынок продукт с аналогичными характеристиками и стоимостью. В этом случае меняется не только количество конкурентных предложений, но и фактор риска [8], определяющий намерения покупателей. В идеальном случае необходимо учитывать условия, в которых были получены ретроспективные данные [10, 11, 12], но это не всегда удается, да и условия внешней среды постоянно изменяются, поэтому для выполнения прогноза достаточно учесть текущие условия на рынке [9]. Пусть сейчас на рынке присутствует 5 конкурентных предложений, при этом уровень безразличия предпочтений покупателей равен 0,5. На рисунке 118, а, показано как будет изменяться вероятность получения прибыли при изменении количества конкурентов в различных значениях уровня безразличия предпочтений покупателей. Из рисунка 118, б, видно, что эта вероятность резко изменяется при изменении не только количества предложений на рынке, но и снижении интереса покупателей к конкретному предложению.

Таким образом указанные методы позволяют эффективно и точно строить вероятностные высказывания и включать в модель необходимые факторы, в том числе количество конкурентных предложений, которые могут появиться на рынке, а также изменение намерений покупателей относительно выбора подходящего им товара. На основе предложенной модели можно строить оперативные прогнозы, не требующие использования сложного инструментария и программного обеспечения. Особенно полезной модель окажется для прогнозирования редких продаж, потому как прогноз только на основе ретроспективных данных при редких продажах будет не столь эффективен, как с использованием данных о состоянии конкурентной среды и намерениях покупателей в условиях информационной асимметрии.

4.4. Модель поведения участников розничного рынка топлива в условиях информационной асимметрии

В условиях рыночной экономики все решения субъектов на рынке принимаются на основе данных. Если лица, принимающие решения, не располагают своевременной, релевантной и достоверной

информацией, у них не остается другого выхода, как только положиться на собственную интуицию.

Недостаточная информированность участников рынка является главной причиной рыночной неопределенности, в условиях которой принимаются решения, что порождает рыночную асимметрию [1].

Рыночная асимметрия информации представляет собой неравномерное распределение между участниками рынка информации об условиях осуществления рыночной сделки и намерениях друг друга.

Формы проявления влияния асимметрии информации на рынок многообразны. В ряде случаев асимметрия информации может стать причиной формирования рыночной власти продавцов. Поскольку получение информации связано для покупателя с дополнительными затратами, то оно имеет для него смысл только в том случае, если ожидаемые выгоды превысят затраты на поиск информации. Когда покупатели не осведомлены о величине затрат, связанных с поиском информации, а также величине выгод от ее получения, этим может воспользоваться продавец, устанавливая цену на продукт выше равновесной. Другими словами, даже на рынке совершенной конкуренции возникают ситуации, когда продавец может продавать товар по ценам, превышающим предельные издержки производства [1, 2].

От асимметрии информации страдает не только потребитель. Скрытые намерения покупателей часто становятся причиной упущенной прибыли для фирм, которые располагают значительной рыночной властью [2].

Попытаемся разобраться в модели асимметрии рынка на примере повышения цен на топливо в январе 2019 года. Параллельно с повышением НДС и ростом цен на топливо в социальных сетях вновь начали проявлять себя активисты, призывающие бороться с повышением цен на бензин следующим образом: в течение длительного периода времени (например, двух месяцев) не покупать топливо на заправке одного из крупнейших поставщиков региона. В следующие два месяца предполагается не покупать топливо у другого крупного поставщика и т.д.

Активисты предполагают, что если топливо не будут покупать долгий период, то продавец будет вынужден снижать цены. Когда продавец вынужден будет снизить розничную цену на топливо, он получит конкурентное преимущество, и другие продавцы будут вынуждены сделать то же самое. Разумеется, для достижения такого

эффекта необходимо, чтобы крупные топливные компании лишились тысяч клиентов. Попытаемся смоделировать данную ситуацию и разобраться в механизме ценообразования на розничном рынке топлива, а также выяснить, что произойдет, если часть покупателей откажется от приобретения продукта у одного из участников рынка.

Целью является построение модели поведения продавцов и покупателей на розничном рынке топлива с асимметрией, обусловленной «властью покупателей». Для этого необходимо решить следующие задачи.

1. Смоделировать конкурентную борьбу продавцов на розничном рынке топлива.

2. Смоделировать поведение покупателей и их намерения по приобретению топлива.

3. Проанализировать результаты моделирования при различных условиях.

Прежде чем строить указанные модели, необходимо отметить, что на покупательскую активность клиентов конкретной автозаправочной станции (АЗС) влияет огромное количество субъективных факторов: интенсивность транспортных потоков, проходящих мимо АЗС, близость к федеральной трассе, ассортимент топлива, его качество, наличие сервиса обслуживания автомобилей, кафе, магазина, мойки и т.д. Однако нас будут интересовать лишь субъективные предпочтения клиентов, т.е. их покупательская активность вне зависимости от наличия или отсутствия указанных факторов.

Следует также отметить, что невозможно полностью исключить активность клиентов в отношении конкретной АЗС по причине того, что невозможно информировать всех ее потенциальных клиентов, более того, даже среди информированных клиентов найдутся те, кто не изменит свое предпочтение и продолжит покупать там, где ему удобно. В нашем же случае необходимо выяснить, как влияет отказ части клиентов от покупки товара у одного из продавцов на рынке на оптимальную цену предложения товара.

Для примера возьмем средней величины населенный пункт, имеющий 5 АЗС от 5 крупных топливных компаний. Сначала необходимо выяснить оптимальную цену предложения в условиях конкуренции, а затем проанализировать, как изменится эта цена при снижении потока клиентов. Необходимо проверить гипотезу о том, что

в условиях жесткой конкуренции продавцы для того, чтобы получить прибыль, вынуждены будут снизить цену.

Для начала необходимо разобраться в структуре цены 1 л топлива.

Средневзвешенная цена бензина марки АИ-92, популярной в России по состоянию на конец 2018 г., составляла 41 рубль 50 копеек, в том числе:

1) налог на добычу полезных ископаемых – около 25 % (10,38 руб.);

2) налог на добавленную стоимость – 18 % (в 2019-м – 20 %) (7,47 руб.);

3) акциз – 21 %, или 8,72 руб.;

4) прочие налоги (имущественные, на прибыль и др.) – около 5 %, или 2,1 руб. Итого налоги отнимают 28,67 рубля. Это почти 70 %;

5) себестоимость добычи нефти – 8 %, или 3,32 руб.;

6) перевозка, хранение, переработка, содержание АЗС и прочие необходимые процессы – 15 %, или 6,23 руб.;

7) прибыль (оптовый + розничный сектор) – 8 %, или 3,32 руб.

Можно сделать вывод, что даже если нефть вдруг вырастет на 10 %, то стоимость бензина прибавит всего 30 копеек. С другой стороны, повышение НДС на 2 % повлечет за собой неминуемое удорожание на 80 копеек.

При этом условии требуется установить максимальный порог снижения цены продавцами топлива при резком снижении потока покупателей.

Входными данными для модели, построенной в Microsoft Excel, являлись следующие характеристики.

1. Себестоимость 1 л бензина АИ-92 без учета торговой наценки 38 руб.

2. Затраты на хранение нереализованных объемов топлива (с 1 л) – 0,1 руб.

3. Максимальное количество конкурентов – 4.

В сложившихся условиях каждый покупатель имеет собственные предпочтения по приобретению топлива на той или иной АЗС. При этом количество топлива, которое необходимо каждому покупателю, в соответствии со статистическими данными подчиняется нормальному закону распределения вероятностей и составляет в среднем 20 л бензина с отклонением также в 20 л. Графически структура реализации топлива по объему изображена на рисунке 119.

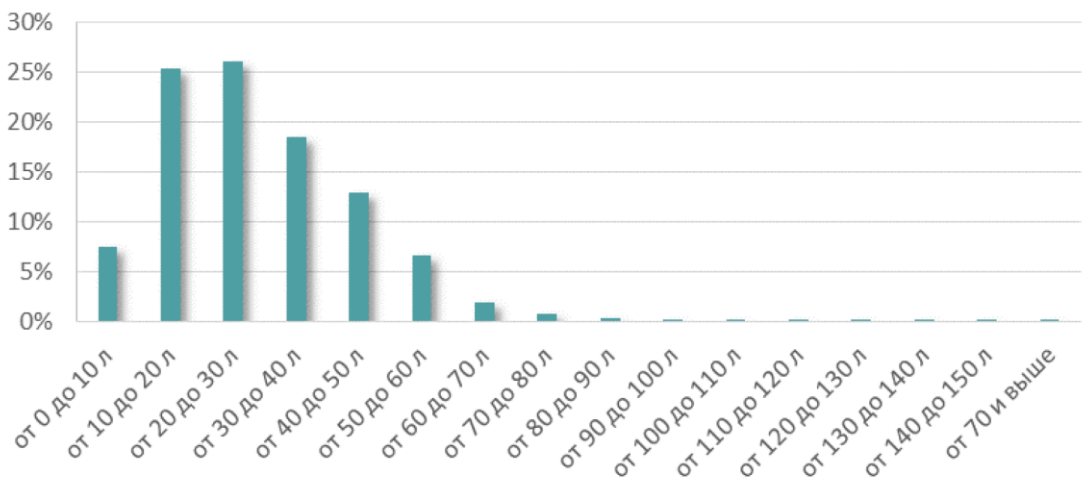


Рис. 119. Структура реализации топлива (бензин АИ-92) по размеру чека

Таким образом, покупатель сначала должен выбрать АЗС по своим предпочтениям (в зависимости от вышеуказанных факторов), после чего он обратит внимание на цену и выберет предложение с наиболее привлекательной для него стоимостью товара. Затем покупатель должен определиться, сколько топлива ему необходимо. В результате могут сложиться следующие ситуации.

1. Клиент нуждается в топливе, и по причине самой привлекательной цены он приобретает его на интересующей нас АЗС. В данном случае АЗС получит прибыль в размере торговой наценки, умноженной на количество купленного топлива.

2. Клиент нуждается в топливе, но он предпочитает другую АЗС с более привлекательной ценой. В данном случае АЗС не получает прибыль, а лишь несет убытки в размере издержек на хранение нереализованного объема продукции и прочих расходов (в модели условно заложено 10 коп. с 1 л).

3. Клиент не нуждается в топливе, но по причине привлекательной цены он приобрел бы топливо на интересующей нас АСЗ. То есть АЗС получила конкурентное преимущество, которое не

было реализовано по причине отсутствия нужды в топливе у клиента, прибыль в данном случае нулевая.

4. Клиент не нуждается в топливе, и его предпочтения отданы другой АЗС с более привлекательной ценой на бензин. В данном случае АЗС не получила конкурентного преимущества, и клиент купил бы бензин у других конкурентов, даже если бы в нем нуждался. Прибыль интересующей нас АЗС в данном случае также нулевая.

Теперь необходимо смоделировать ситуацию, когда покупательская активность на отдельной АЗС снижается. Причем это может проявляться в снижении объемов продаж топлива, обусловленном снижением количества покупателей. То есть структура гистограммы, изображенной на рисунке 119, в целом сохранится, однако общий объем прибыли снизится. Для моделирования такого поведения можно ввести коэффициент пропорциональности, который позволяет смоделировать ситуацию со снижением количества приобретаемого топлива.

Для определения цены предложения, максимально увеличивающей ожидаемую прибыль, рассмотрим моделирование по методу Монте-Карло [4, 5], который позволяет моделировать ситуации, проявляющие неопределенность, многократно воспроизводить их на компьютере и оценивать численными методами.

Рассмотрим подробнее, как применить эти методы для определения максимально прибыльной цены на топливо с учетом информационной асимметрии. Если принять, что все продавцы на рынке находятся в одинаковых условиях, то их стратегия поведения сводится к определению такой цены на топливо, которая, с одной стороны, с высокой долей вероятности окажется самой привлекательной для клиентов (низкой), а с другой – позволит реализовать продукцию с максимальной для продавца прибылью.

	D	E	F	G	H
1	себестоимость бензина без учета торговой наценки за 1	38			
2	Затраты на хранение 1 л. Топлива	0,1	Случайное число		
3	Количество конкурентов	2	0,280956014		
4	Предложение компании за 1 л. бензина	41,5			
5					
6	Номер конкурента	Предпочтения покупателя	Предложение по цене за 1 л.	Случайное число	
7	1	да	44,43611882	0,791615547	
8	2	да	46,78579886	0,944673649	
9	3	нет	100	0,002988008	
10	4	нет	100	0,692328936	
11	5	нет	100	0,361773064	
12	6	нет	100	0,196269949	
13	7	нет	100	0,41627113	
14	8	нет	100	0,212162679	
15	9	нет	100	0,093484539	
16	10	нет	100	0,458689743	
17					
18	Покупают у нас?				Коэффициент
19	да	Намерения по покупке топлива, л.	14,53017685	0,490629246	1
20	Прибыль с одного клиента, руб.				
21	49,4026013				

Рис. 120. Моделирование поведения покупателей

Начальным этапом построения модели является моделирование количества конкурентов на рынке. Функция =БИНОМ.ОБР(4;0,5;F3), записанная в ячейке E3 (рисунок 120), позволяет смоделировать количество конкурентов, которым отдает предпочтение отдельно взятый покупатель, при этом задается их максимальное количество (4, так как в городе всего 5 АЗС, включая интересующую нас и 4 конкурентов), а также вероятность предпочтения покупателя. Величина вероятности предпочтений покупателя предполагает, что не все покупатели пользуются услугами всех АЗС в городе, но и тех, кто ездит только на одну АЗС, тоже мало, поэтому значение вероятности предпочтения берется равным 0,5 и означает, что в среднем покупатель из 5 предпочитает 2–3 АЗС. Значение критерия α задается случайным числом с равномерным распределением вероятностей, записанным в ячейке F3 [13, 16].

Предложения для каждого конкурента (конкурентам, заведомо не попавшим в предпочтение клиента, назначается цена предложения 100 руб. за литр) генерируется с использованием функции, моделирующей нормальное распределение НОРМ.ОБР(p;42;3), где p – вероятность, которая также задается случайным числом, 42 – средняя цена за литр топлива, 3 – СКО цены на топливо (взято на основе статистических данных). Затем в ячейке D19 проверяется условие минимума цены, при котором интересующая нас АЗС получит конкурентное преимущество.

В ячейке F19 моделируются намерения покупателей на покупку определенного количества топлива с помощью функции =НОРМОБР(G19;20;20), т.е. в ячейке G19 с помощью генератора

случайных чисел, помноженного на весовой коэффициент из ячейки H19, моделируется вероятность покупки топлива со средним значением 20 л и СКО в 20 л.

Наконец, с помощью инструмента Excel «таблицы данных с двумя входами» можно смоделировать тысячу сделок по покупке топлива для различной цены за литр (от 38 до 53 руб. за 1 л с шагом в 50 коп., шаг можно уменьшить при необходимости) [8, 9].

В качестве переменной в таблице данных, подставляемой по столбцам, используется цена предложения компании, записанная в ячейке E4. Таким образом, прибыль для каждой сделки моделируется тысячу раз, после чего подсчитывается среднее значение прибыли с одной сделки, полученной за тысячу испытаний.

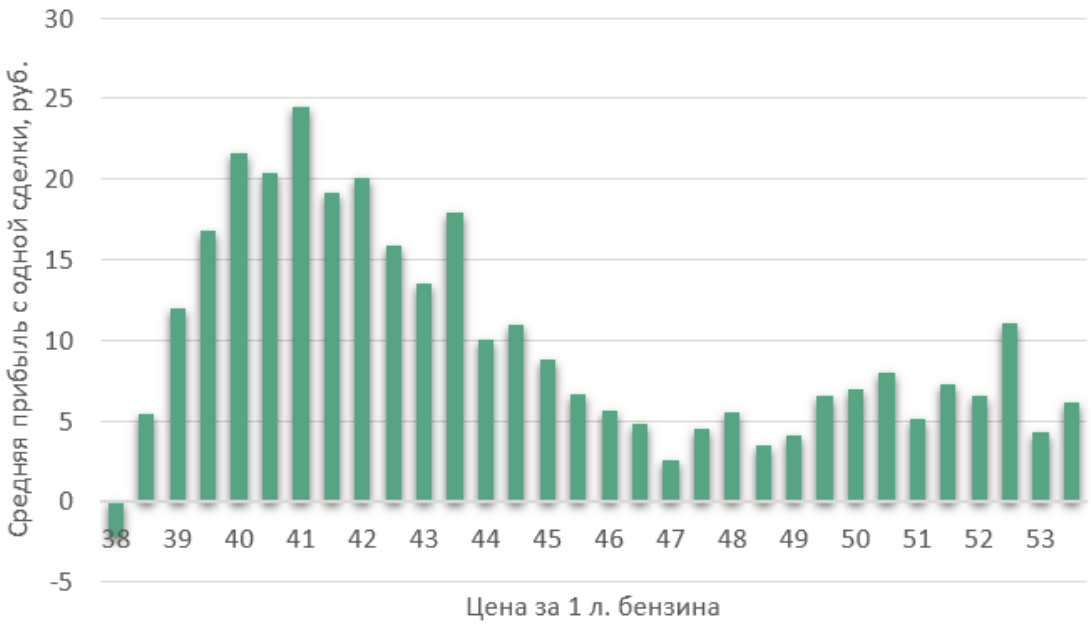


Рис. 121. Средняя прибыль от одной сделки при различной цене за 1 л топлива

Результат моделирования цены в условиях конкурентной борьбы представлен на рисунке 121. Для того чтобы получить максимум прибыли, необходимо реализовывать бензин по цене 41 рубль, что вполне соответствует текущему положению на рынке. Нестабильный характер графика средней прибыли от одной сделки при высоких значениях цен означает, что существует вероятность того, что при высокой цене на топливо найдутся неинформированные покупатели, которые при отсутствии информации о конкурентах вынуждены будут

купить топливо у этого продавца, принеся ему тем самым случайную прибыль.

Теперь предположим, что у потребителя резко изменились предпочтения, для этого увеличим значение коэффициента вероятности в формуле, записанной в ячейке E3, с 0,5 до 0,9 (назовем его уровень безразличия предпочтений покупателей). Это означает, что у покупателя появилось больше альтернатив для приобретения товара. В результате график зависимости средней прибыли от одной сделки при различной цене за 1 л топлива приобретает вид, изображенный на рисунке 122.

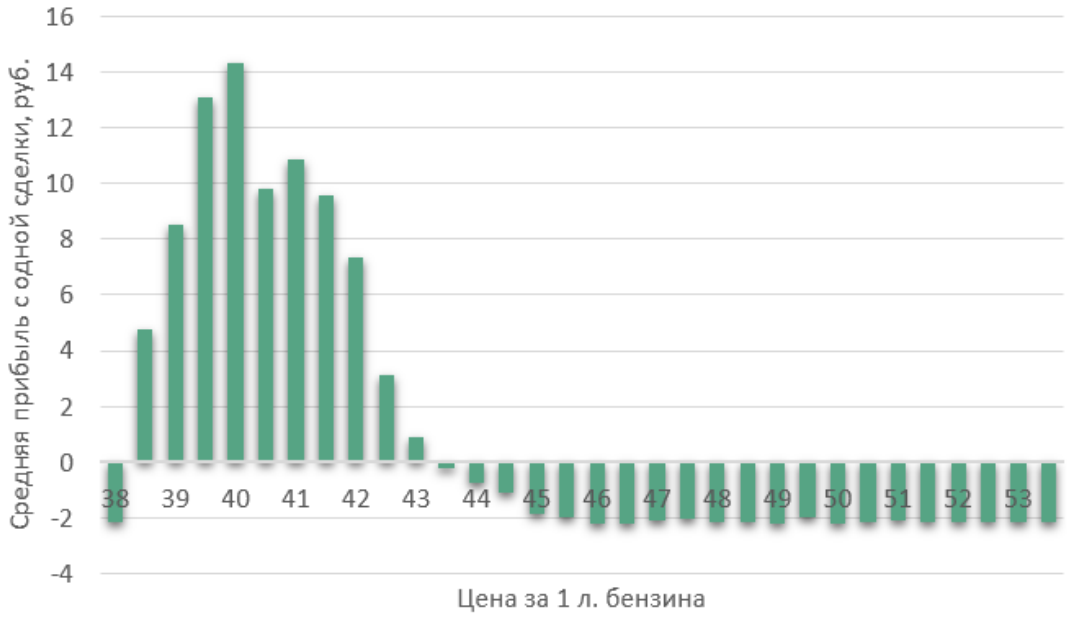


Рис. 122. Зависимость средней прибыли одной сделки от цены за 1 л топлива при изменении уровня безразличия предпочтений покупателей

Рисунок 122 показывает, что продавец неизбежно вынужден будет снизить цену, но это снижение не будет столь ощутимым и находится в пределах 1 руб. за 1 л топлива при снижении средней прибыли с одной сделки на 40 %. Теперь смоделируем ситуацию, когда покупатели буду меньше приобретать топлива. Для этого снизим весовой коэффициент в ячейке H19 сначала на 10 %, потом на 20 %, 30 % и 40 %. Результаты представлены на рисунке 123.

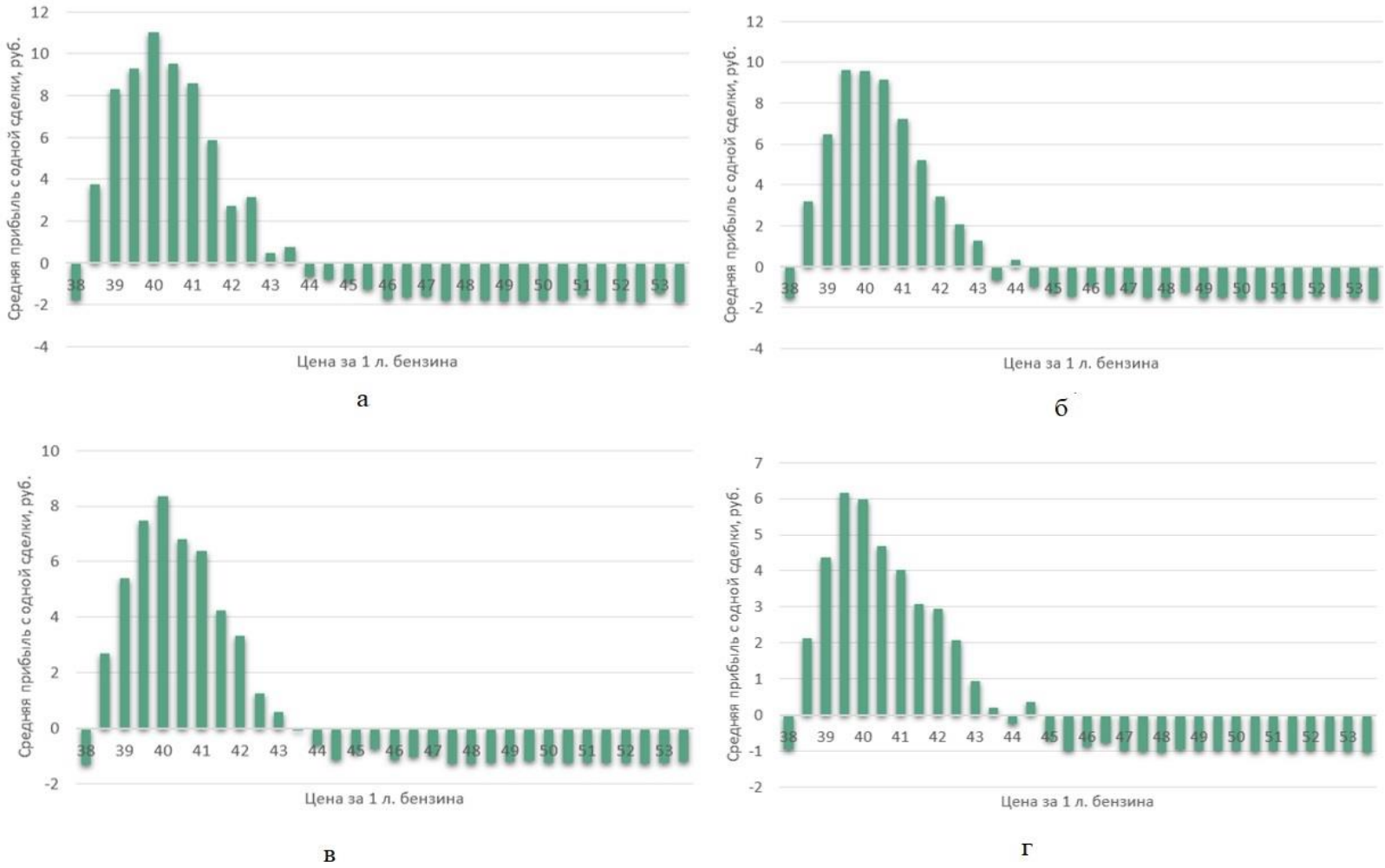


Рис. 123. Зависимость средней прибыли одной сделки и оптимальной цены предложения от цены за 1 л топлива при уменьшении объемов приобретения топлива на: а – 10 %, б – 20 %, в – 30 %, г – 40 %

Из рисунка 123 видно, что оптимальная цена реализации топлива практически не снижается и зависит не от объемов продаж, а от условий конкурентной борьбы, при этом средняя прибыль от одной сделки существенно снижается. Эта зависимость показана на рисунке 124 и носит практически линейный характер.

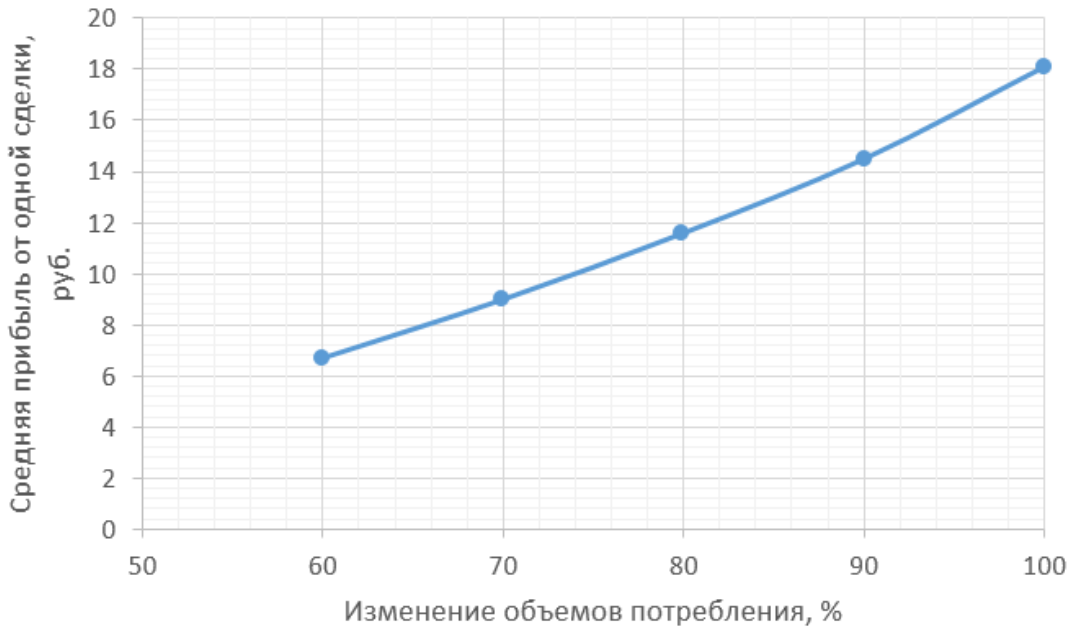


Рис. 124. Зависимость средней прибыли одной сделки от цены за 1 л топлива при изменении объемов приобретения топлива

При этом оптимальная цена продажи топлива не изменяется, что опровергает гипотезу о том, что продавцы стремительно начнут снижать цены на топливо при изменении поведения покупателей. Да, прибыль при этом упадет значительно, более того, существует пороговое значение снижения уровня объемов потребления, при котором работа АЗС окажется нерентабельной при любой цене топлива. При указанных параметрах модели это значение составляет 85 %. Этот факт означает, что АЗС должна лишиться 85 % своих покупателей, чтобы стать убыточной, что в условиях рыночной асимметрии является достаточно высоким показателем и маловероятным случаем, даже если в реальных условиях это значение может быть меньше и составлять 50 %. Данный метод позволяет выстроить лишь вероятностные высказывания относительно снижения или повышения оптимальной цены предложения в сложившихся условиях, но не позволяет спрогнозировать изменение самих условий, точные прогнозные значения требуют более детального анализа [10, 11].

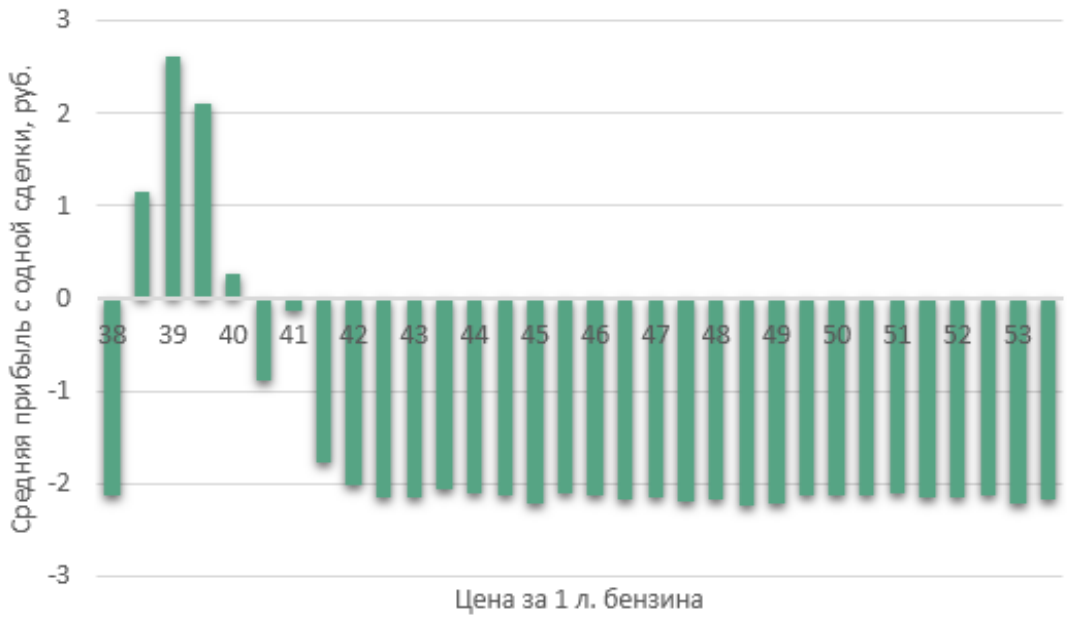


Рис. 125. Зависимость средней прибыли одной сделки и оптимальной цены предложения от цены за 1 л топлива при увеличении количества конкурентов и уровня безразличия предпочтений покупателей

В отдельных случаях сговор покупателей приведет к убыткам, при этом на снижение цены предложения резко влияет наличие конкурентов и уровень безразличия предпочтений покупателей, если количество конкурентов увеличится, а покупателям будет все равно, где покупать топливо (рисунок 125), то оптимальная цен 1 л топлива снизится. Снижение потока покупателей на отдельной АЗС слабо влияет на снижение оптимальной цены на топливо. Однако существует предел покупательской активности, при котором АЗС становится убыточной. Продавцы об этом знают и используют программы лояльности клиентов, для того чтобы сконцентрировать намерения клиентов вокруг одной сети АЗС.

При этом цена реализации топлива чрезвычайно чувствительна к его себестоимости, увеличение которой всего на 1 рубль приведет к увеличению оптимальной цены реализации на 3 рубля и более и в будущем может достичь уже прогнозируемых 50 руб. за 1 л топлива.

4.5. Оценка эффективности рекламной кампании в социальных сетях с использованием методов имитационного моделирования

На сегодняшний день одним из наиболее эффективных видов рекламы является реклама в социальных сетях благодаря лавинному увеличению аудитории интернет-пользователей. При этом социальные сети за счет более оперативного распространения информации, а также возможностей анализа целевой аудитории позволяют более точно и эффективно донести рекламное объявление до заинтересованного клиента, что делает ведение бизнеса более продуктивным. В этой связи актуальной является задача построения стратегии ведения и финансирования рекламной кампании в социальных сетях.

Разумеется, реклама в сети «Интернет» требует определенных капиталовложений, которые не всегда бывают оправданы, потому как распространение информации и технологии подачи рекламных объявлений, а также их стоимость зависят от большого количества факторов и носят сложный случайный характер. Более того, очень трудно понять, какая именно категория пользователей окажется заинтересована в вашем рекламном объявлении, еще труднее спрогнозировать рост продаж в зависимости от вложений в рекламу. Очевидно, что оптимальное соотношение между затратами на рекламу и полученной прибылью определить достаточно тяжело. Это происходит из-за информационной асимметрии [1, 17] на рынке онлайн-продаж, когда продавцы ведут бизнес, не владея полной информацией о конкурентной среде, а также намерениях покупателей, потому как этот анализ также требует сил и средств, а покупатели, в свою очередь, также формируют свое мнение о товаре или услуге на основе различного набора факторов и источников [9]. В итоге определить отдачу от рекламного объявления даже для целевой аудитории оказывается сложно. Однако существуют годами наработанные практические методики [12], которые эмпирически позволяют оценить эффективность рекламной кампании, но что делать, если бизнес «молодой» и руководитель не имеет представления о том, как поведут себя покупатели и насколько они будут заинтересованы предложением.

В этом случае ни одна из существующих математических моделей не даст точного и адекватного ответа [11] на поставленный

вопрос в силу того, что она не будет учитывать специфику информационной асимметрии рынка, поэтому наиболее эффективным способом будет использование комбинированной методики, основанной на сплит-тестировании [18] и методах виртуального расширения статистической выборки [10], позволяющих на основе имитационного моделирования построить вероятностные прогнозы относительно увеличения/уменьшения объемов продаж продуктов (товаров, работ, услуг и т. п.) и оценить ожидаемую прибыль при определенном уровне вложений в рекламу.

Но прежде чем перейти к исследованиям, необходимо разобраться, какие существуют способы оплаты рекламы в социальных сетях. Ключевыми показателями эффективности рекламной кампании являются объем целевой аудитории, количество показов объявления, количество переходов (кликов) по рекламному объявлению и количество покупок после такого перехода. Последний показатель в отношении к посетителям сайта называется конверсией и позволяет оценить отдачу от рекламы.

В этой связи существует три способа оплаты рекламы в социальных сетях, каждый из них имеет свои преимущества и недостатки:

1) оплата показов в видимой области экрана. Самый дешевый способ, но требует предварительного анализа целевой аудитории и грамотной настройки алгоритма показов. Чаще всего в данном случае система автоматически определяет оптимальную стоимость за показы;

2) оплата клика (оплата выполняется за перешедших на сайт посетителей). В этом случае оплата взимается только если пользователь выполнил переход по ссылке, указанной в рекламном объявлении, т.е. заинтересовался им. Оплата клика оптимальна по стоимости, если целью является увеличение трафика;

3) оплата конверсии (оплата выполнения действия – например, покупку продукта на сайте). Оплата конверсии является самым дорогим вариантом, но обладает важным достоинством: оплата выполняется только в случае выполнения целевого действия (подписка, покупка и т. п.). Технически это тоже оплата клика, но система автоматически высчитывает количество кликов, нужных для конверсии, и назначает их цену исходя из установленной ставки оплаты действия. Оплата конверсии может быть выгоднее на длинных

дистанциях, когда рекламируется товар или группа однотипных товаров с постоянным спросом.

Однако зачастую при выводе того или иного продукта на рынок, прежде чем запускать рекламную кампанию, выгоднее провести тестирование на небольшой выборке, которая позволит установить соотношения между количеством показов рекламного объявления, объемом заинтересовавшейся аудитории и количеством выполнения целевых действий (покупок). При этом выборка должна быть достаточно большой: по кликам, не менее 200 в день в течение 15 дней, и по конверсиям на сайте – как минимум 15 конверсий за последние 30 дней. Это позволит дать вероятностную оценку намерений покупателей по отношению к вашему продукту и оценить ожидаемый уровень увеличения прибыли. Для того чтобы определить этот уровень, можно провести тестовую рекламную кампанию в течение короткого промежутка времени и затем с использованием методов расширения статистической выборки (бутстреппинга) оценить статистические параметры конверсии.

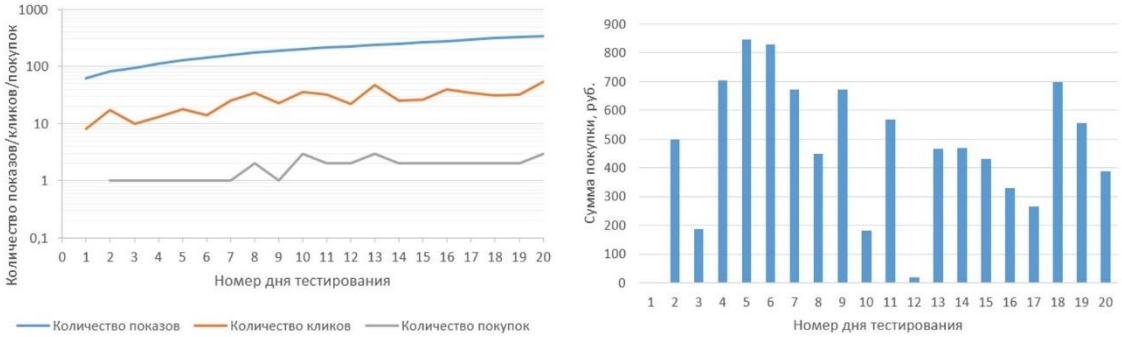
Таким образом должна быть сформирована следующая методика оценки эффективности рекламной кампании.

1. На начальном этапе, длительность которого должна составлять не менее 20 дней, нужно осуществить «плавный» вывод рекламного объявления с увеличением количества показов, например, с 50 показов в день до 350 показов в день. Это позволит установить зависимость между количеством показов и количеством кликов и покупок. Затраты при этом будут минимальны. Так, при стоимости показа 0,05 руб. за 5000 показов стоимость рекламного теста составит 250 р. Конечно, 5000 показов это не так много, но с учетом грамотного подбора целевой аудитории позволит оценить эффективность отклика покупателей. Кроме того, при изменении начальных условий тестирование можно провести неоднократно и это не приведет к большим финансовым затратам.

2. В течение этого времени необходимо отслеживать количество кликов (переходов) и количество целевых действий (покупок) по рекламным объявлениям. Это к тому же позволит оценить правильность выбора целевой аудитории. По сути, данный этап представляет собой проведение короткого сплит-тестирования и оценки вариативности его показателей.

3. После получения статистических данных применяется метод виртуального расширения выборки, и на его основе оцениваются статистические показатели, а также строятся вероятностные высказывания [13] относительно измерения этих показателей, что достаточно эффективно в условиях редких продаж [15].

4. В результате выполнения вероятностного прогноза можно оценить, какой из способов оплаты рекламной кампании будет наиболее выгоден в сложившихся условиях.



а б

Рис. 126. Тестовые данные по продажам продукта: а – динамика изменения количества показов, кликов и покупок по дням; б – динамика прибыли в течение тестовой рекламной кампании

Рассмотрим, как будет работать данная методика при реализации с помощью электронных таблиц Microsoft Excel. В качестве примера возьмем тестовые данные по продажам продукта, выполненные за 20 дней начала тестовой рекламной кампании (рисунок 126).

На рисунке 126 показано, что достижение расчетного или рекомендуемого уровня количества показов рекламного объявления за 1 день сопровождалось увеличением количества пользователей социальной сети, заинтересовавшихся рекламным объявлением, а также увеличением количества покупок продукта после перехода по ссылке. Однако структура прибыли от сделок, совершенных подобным путем, носила сложный нелинейный характер, да и динамика количества переходов и покупок сопровождалась большим количеством отклонений и всплесков, но положительная тенденция сохранялась [1].

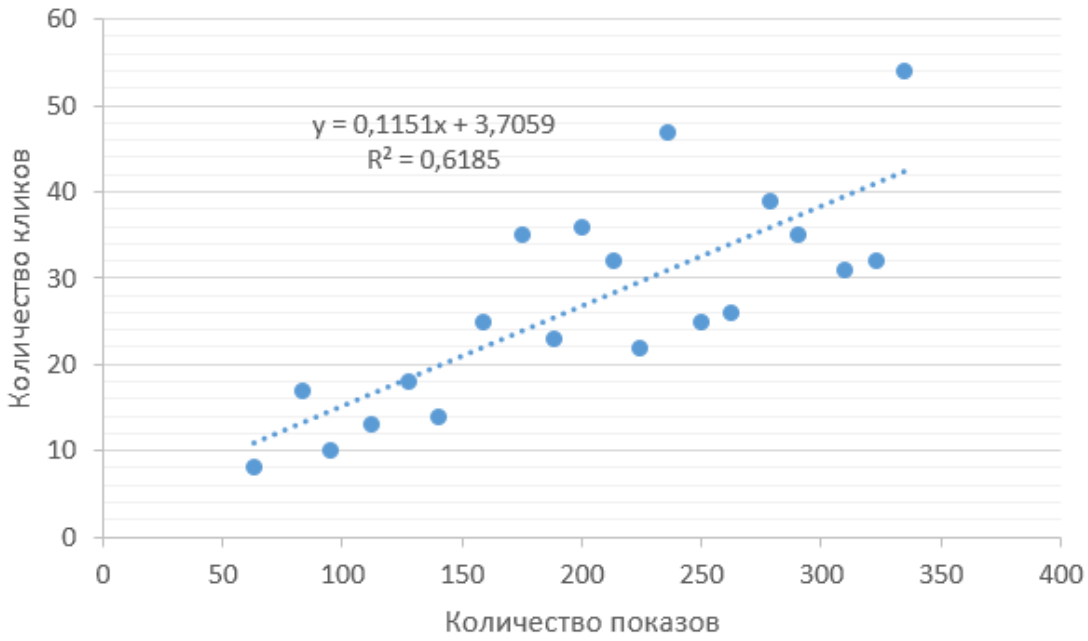


Рис. 127. Зависимость количества кликов от количества показов рекламного объявления в тестовом режиме

Из рисунка 127 видно, что зависимость количества кликов от количества показов, вероятнее всего, носит линейный характер, однако степень корреляции между двумя этими показателями невысокая. Это означает, что необходимо выполнить дополнительные статистические исследования по учету рисков [19] и спрогнозировать ожидаемую вероятность положительного эффекта от рекламной кампании при заданном уровне ее параметров.

Таблица 36 показывает, какие могли бы быть результаты затрат на тестовую рекламную кампанию, если бы использовались иные формы оплаты при одинаковом количестве показов. Очевидно, что существенного преимущества в данном случае вряд ли удалось бы достигнуть, однако можно сделать вывод, что в конкретной сложившейся ситуации оплата конверсии была бы выгоднее. Следует также отметить, что в таблице 36 стоимость оплаты одного действия была взята усреднённой, эта величина не является постоянной и настраивается индивидуально. При этом полученная прибыль составила 9219,19 руб. с учетом того, что покупку совершило 34 клиента, можно предположить, что средняя прибыль с клиента составит 271,15 руб.

Таблица 36

Результаты тестовой рекламной кампании

Тип оплаты	Стоимость действия, руб. за шт.	Количество действий	Общая стоимость тестовой кампании, руб. за шт.
по показам	0,05	4065	203,25
по кликам	0,5	542	271
по конверсии	5	34	170

Теперь пришла пора разобраться с прогнозными значениями, т.е. необходимо выяснить, как будет изменяться уровень продаж при сохранении текущего количества показов на последующие, к примеру, 20 дней, и что будет если мы решим увеличить бюджет нашей рекламной кампании до 5000 рублей, при этом увеличив количество просмотров.

Для этого будем использовать виртуальное увеличение текущей выборки данных с помощью так называемого метода бутстреппинга, который позволяет без построения прогнозной модели сделать вероятностные высказывания относительно изменения интересующего показателя [2]. А в качестве, по сути, «обучающей» модели будут использоваться тестовые данные за предыдущие 20 дней.

Идея прогнозирования заключается в имитации возможных сценариев поведения кривой показов, которые берутся из исходного набора данных за 20 дней. Причем применение сценария для каждого последующего периода прогнозирования также выбирается из исходного набора. Точкой отсчета для прогноза является значение количества показов рекламного объявления в конце последнего периода исходных данных (20-го дня).

Так, если задача стоит спрогнозировать изменение объема продаж через 20 дней продолжения рекламной кампании, то сначала необходимо указать начальное количество кликов, достигнутое после проведения тестовой рекламной кампании, затем смоделировать повторение сценария за дни № 1-20 тестовой кампании. При этом сценарии могут повторяться неоднократно.

Теперь можно перейти к процессу виртуального увеличения выборки. Для этого необходимо сгенерировать большое количество сценариев изменения количества кликов и продаж. Конечное количество кликов продаж берется на 20-й день прогноза, и затем для

взятого значения прорабатываются 1000 сценариев изменения этих показателей (этого объема выборки достаточно для получения приемлемого уровня точности прогноза). На основании полученного расширенного массива сценариев выполняется анализ статистических показателей и строятся вероятностные высказывания.

	G	H	I	J	K	L
29	день №	начальное количество кликов	начальное количество покупок	сценарий	конечное количество кликов	конечное количество покупок
30	1	54	3	16	72	3
31	2	72	3	18	63	3
32	3	63	3	16	84	3
33	4	84	3	20	118	4
34	5	118	4	13	181	5
35	6	181	5	20	255	7
36	7	255	7	19	263	7
37	8	263	7	16	351	7
38	9	351	7	7	505	7
39	10	505	7	8	649	11
40	11	649	11	12	354	11
41	12	354	11	11	310	6
42	13	310	6	1	310	6
43	14	310	6	2	474	12
44	15	474	12	14	57	6
45	16	57	6	20	80	8
46	17	80	8	12	44	8
47	18	44	8	13	67	11
48	19	67	11	12	37	11
49	20	37	11	8	48	17

Рис. 128. Частный случай реализации сценария измерения количества кликов и продаж

Так, например, на основании анализа расширенной выборки, построенной на основании тестовой рекламной кампании, вероятность увеличения количества переходов по ссылкам рекламного объявления составит 0,2, т.е. если продолжать наращивать количество показов и делать дополнительные вложения, это даст положительный эффект только в 20 % случаев, при этом вероятность увеличения количества покупок чуть выше и равна 0,25 и средняя ожидаемая прибыль составит

около 28 000 рублей при расчетной стоимости средней покупки в 271,15 руб. со сделки и прогнозируемом ожидаемом количестве покупок 100 шт. за последующие 20 дней. При этом бюджет рекламной кампании по конверсии ожидаемо увеличится до 500 руб. Это является своего рода отправной точной для принятия решения об объеме финансирования рекламной кампании. Таким образом, на основании выполненного анализа можно сделать следующие выводы.

1. Структуру оплаты рекламной кампании необходимо оптимизировать в соответствии с наиболее выгодными способами оплаты.

2. Сохранение стратегии рекламной кампании позволит увеличить прибыль с вероятностью 0,2.

3. Сохранение затрат на рекламу в последующие 20 дней на уровне 15 руб. в день за 300 показов позволит потратить на рекламную кампанию по форме оплаты только за показы 300 руб. за 20 дней, при том, что ожидаемая прибыль может составить до 28 тыс. руб., что является достаточно выгодным вложением.

Указанная методика позволяет не только эффективно распределить бюджет рекламной кампании в зависимости от способа оплаты, но и провести детальный экономический анализ продаж, выяснить намерения покупателей по отношению к выводимому на рынок продукту, при этом затраты на реализацию тестовой рекламной кампании будут минимальны, а общий ежедневный бюджет, расходуемый на рекламу, позволит спрогнозировать ежедневные и ежемесячные объёмы продаж.

4.6. Интеллектуальный анализ потребительского спроса в условиях информационной асимметрии

Несомненно, основной задачей специалистов в области маркетинга является привлечение и удержание клиентов путем выявления их намерений и потребностей для того, чтобы сделать наиболее выгодные предложения или откорректировать план продаж, т.е. оптимизировать деятельность компании в постоянно меняющихся внешних условиях. Для этого необходимо исследовать и построить модели потребительского спроса на различные группы товаров и услуг. Сложность решения этих задач обусловлена изменчивостью таких важных внешних факторов, как конкурентная среда, а также намерения покупателей, которые трудно спрогнозировать, потому как постоянно

возникает дисбаланс в информированности участников рынка (продавцов и покупателей) об условиях следки – качестве товара, его цене, характеристиках и т.д. Такое явление информационной асимметрии [1, 2] представляет собой неравномерное распределение между участниками рынка информации об условиях осуществления рыночной сделки и намерениях друг друга.

В этой связи целесообразным является описание «портрета» целевой аудитории, т.е. признаков клиентов [22]. Для этого необходимо учесть большое количество скрытых факторов их поведения, не имеющих ярко выраженных причинно-следственных связей. Конечно, необходимо собирать как можно больше статических данных о клиентах (пол, возраст, географические данные), но в большинстве случаев сбор, хранение и использование таких данных ограничены действием Федерального закона о персональных данных № 152-ФЗ. Поэтому проще всего вести обезличенный учет клиентов, например, по выданным на руки дисконтным (бонусным) картам с уникальным идентификатором. Разумеется, к данной карте можно привязать личный кабинет на портале компании, где с согласия клиента возможно получить его дополнительные статические признаки [23].

Еще сложнее обстоят дела с динамическими показателями, которые формируются на основании поведения отдельного клиента относительно других клиентов. В этом случае нужно не только вести строгий учет покупок отдельного клиента, но и выполнять обобщенный анализ клиентской базы по известным методикам и показателям эффективности: RFM-классификация, определение размера среднего чека, ценности клиента и т.д. [25, 26]. Так или иначе необходимо сопоставить признаки покупателей с признаками сделок и товаров, которые они потребляют в течение определенного периода времени.

Однако в большинстве случаев известные методики анализа и сегментирования клиентской базы [27, 28] либо ориентированы на получение статических признаков клиентов, что не позволяет получить сбалансированный статистически значимый портрет целевой аудитории, либо являются классификационными, т.е. разделяют клиентскую базу по одному из заранее определенных признаков, например, давность покупки, средний размер покупки и т.д. [20], при этом не учитываются комплексные факторы, обобщающие и разделяющие клиентов на отдельные кластеры. Кластерный анализ выполняется для объединения клиентов по отдельным признакам или группам признаков. Причем эти признаки могут относиться как к

статическим персонифицированным признакам клиента, так и к динамическим признакам, характеризующим его действия – заказы, покупки, т.е. признаки сделок.

Целью является разработка методики сегментации клиентской базы с использованием методов кластерного анализа данных о продажах. В работе рассматривается выполнение кластерного анализа с использованием методов машинного обучения относительно динамических признаков клиентов, когда нет необходимости вести персонифицированный учет клиентов.

Для того чтобы исследовать намерения покупателей, необходимо в первую очередь идентифицировать каждого покупателя, а затем сопоставить признаки товаров, которые он приобретал в течение определенного периода времени. Однако в реальности при большом количестве клиентов-покупателей высока трудоёмкость построения модели поведения для каждого клиента в отдельности, к тому же это будет мало полезным и информативным по отношению к моделям поведения остальных клиентов. Очевидно, что необходимо выполнить сегментирование клиентской базы и для каждого сегмента построить собственную модель, усредняющую модели предпочтений всех клиентов, попавших в данный сегмент по различным характеристикам сделок [8]. Располагая данными о портрете целевой аудитории, продавцы без труда смогут обращаться к различным сегментам клиентской базы с определёнными предложениями, тем самым увеличивая лояльность клиентов [10].

Наиболее популярным классическим алгоритмом кластеризации является метод k-средних [21]. Реализация такого алгоритма и его разновидностей относительно проста и показана в работе с использованием инструментария электронных таблиц [5].

Первым шагом и одновременно недостатком данного алгоритма является необходимость задания количества кластеров k, на которое будет делиться пространство признаков. Существуют отдельные методы вычисления оптимального количества кластеров. В остальных случаях удобнее задать значение k вручную и проанализировать результат разбиения.

Следует также отметить, что разбиение может осуществляться и в двумерном пространстве признаков, например, ID клиента/№ сделки, а подробности сделки смогут дополнительно отражать характеристики купленного товара.

На следующем шаге k произвольных точек назначаются центрами кластеров, и вычисляется расстояние между назначенными кластерными центрами и всеми остальными точками внутри пространства кластеризации. Принадлежность точки к кластеру определяется вычислением наименьшего расстояния до одного из k-центров.

В качестве мер может быть использовано евклидово расстояние между m объектами $x_i = (x_{i1},...,x_{im}) \in X_Q, i = \overline{1,Q}$ и центрами кластеров

$$d_{2k}(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{t=1}^{m} (x_{it} - x_{kt})^2} . \qquad (5.8)$$

Алгоритм является итеративным, и на следующем шаге изменяется положение кластерных центров и вновь проводится распределение точек по k-кластерам, и операция повторяется до тех пор, пока значения расстояний всех объектов до каждого кластера не минимизируются, это означает, что достигнуто оптимальное разбиение.

Целевой функцией является минимизация расстояний до каждого i-го объекта внутри j-го кластера

$$I(k,m) = \sum_{i=1}^{m} d_{2i\min} . \qquad (5.9)$$

Завершающим этапом работы алгоритма является анализ и интерпретация сформированных кластеров, с целью определения обобщающих признаков, по которым точки в кластерах являются похожими, то есть какие из особенностей поведения пользователей являются систематическими.

Рассмотрим пример сегментации клиентской базы с использованием электронных таблиц. Для начала необходима выгрузка данных из базы по продажам товаров. На рисунке 129 показан пример структуры базы данных по учету продаж по дисконтным картам клиентов.

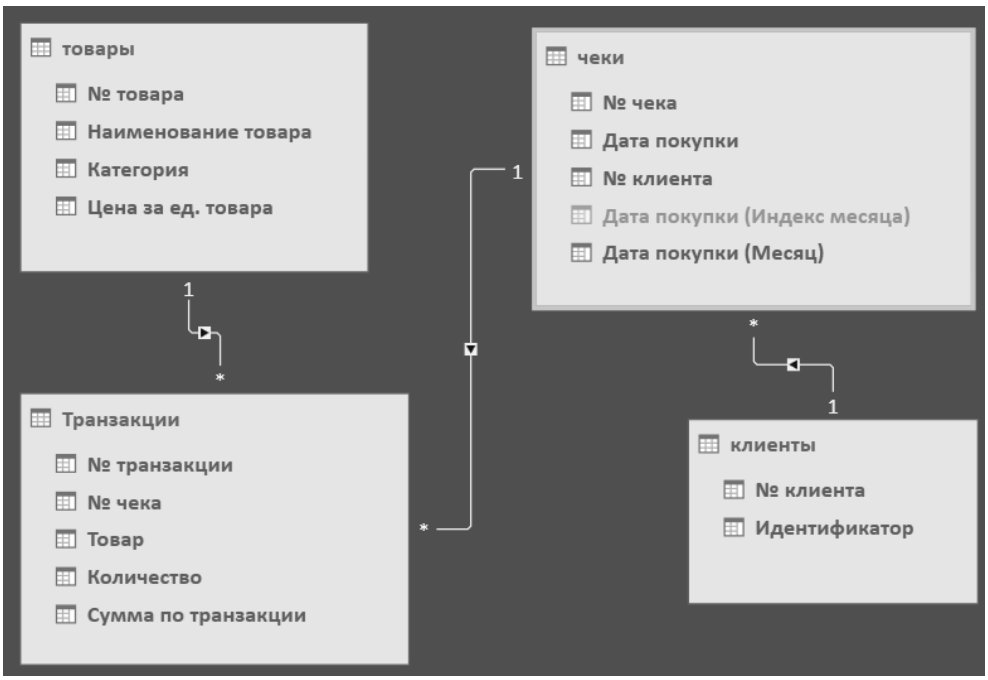


Рис. 129. Структура базы данных по учету продаж по дисконтным картам

Из этой базы нас будут интересовать в первую очередь наименование товаров и временной интервал, в течение которого эти товары приобретались, поэтому на основе базы для начала необходимо построить сводную таблицу по сделкам, клиентам и периодам продаж (рисунок 130). Тем самым определяются ключевые признаки сделок, по которым будет выполняться кластеризация клиентов.

	A	B	C	D	E	F
2						
3		Идентификатор клиента				
4	Наименование товара	1003500010001	1003500010002	1003500010004	1003500010006	1003500010007
5	Апельсины	2,56			9,84	
6	Баклажаны			5,12		
7	Бананы	3,09		8,71		
8	Виноград	6,61				
9	Груши	3,41				
10	Капуста	14,9		6,28		
11	Картофель	11,03			3,15	
12	Огурцы	8,55	2,97		5,52	
13	Томаты	9,25	3,67			
14	Яблоки			7,33		1,12
15						
16	Дата покупки (Месяц)					
17	янв	фев	мар	апр		
18						

Рис. 130. Сводная таблица по товарам, клиентам и периодам продаж

В качестве примера рассматривается анализ на основе данных о продажах за 4 месяца и выявляются особенности поведения всего массива покупателей – держателей дисконтных карт за этот период времени. Следует отметить, что в данном случае используется ограниченный набор товаров из 10 товарных позиций для удобства иллюстрации работы алгоритма. В качестве значений элементов данной кросс-таблицы используется количество единиц (в данном случае кг) продукции. На самом деле, на данном этапе важен сам факт покупки, поэтому в дальнейшем следует преобразовать данную таблицу так, чтобы на пересечении строк и столбцов были показаны единицы только в случае совершения покупки (как показано на рисунке 131).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Месяц	Товары	Цена	категория	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Кластер 4	1003500010001	1003500010002
2	Январь	Апельсины	82	Фрукты					1	
3	Январь	Баклажаны	142	Овощи						
4	Январь	Бананы	59	Фрукты					1	
5	Январь	Виноград	249	Фрукты					1	
6	Январь	Груши	129	Фрукты					1	
7	Январь	Капуста	45	Овощи					1	
8	Январь	Картофель	35	Овощи					1	
9	Январь	Огурцы	106	Овощи					1	1
10	Январь	Томаты	132	Овощи					1	1
11	Январь	Яблоки	89	Фрукты						
12	Февраль	Апельсины	82	Фрукты						
13	Февраль	Баклажаны	142	Овощи						
14	Февраль	Бананы	59	Фрукты						
15	Февраль	Виноград	249	Фрукты						
16	Февраль	Груши	129	Фрукты						

Рис. 131. Подготовка данных под кластеризацию (часть данных скрыта)

На рисунке 131 в столбцах A-D показаны признаки сделок по каждой товарной позиции по месяцам. Всего получилось 40 строк, которые и являются обобщающими признаками всех сделок за 4 месяца. Столбцы E-H отведены под массивы весовых коэффициентов принадлежности каждой группы сделок к определенному кластеру. Начиная со столбца I и далее расположены индикаторы совершения того или иного типа сделки каждым из учтенных по дисконтным картам клиентов. В примере используется выборка более чем из 700 клиентов.

На рисунке 132 показано начальное состояние кластеризации, когда все объекты по умолчанию принадлежат к кластеру № 1. Для каждого клиента рассчитывается расстояние до каждого кластера с

использованием метрики по формуле (1), затем по минимальному расстоянию определяется принадлежность данного клиента к определенному кластеру. В качестве целевой функции используется минимум суммы расстояний каждого клиента до кластера, а в качестве переменных – весовые коэффициенты в столбцах E-H, лежащие в пределах от 0 до 1. Эти весовые коэффициенты показывают, насколько данный тип сделки по всем клиентам близок к центру кластера. Также после определения принадлежности, к какому кластеру относятся все сделки, по каждому клиенту нетрудно вести подсчет доли клиентов, относящихся к тому или иному кластеру, а также выполнить интерпретацию результатов (рисунок 133).

	E	F	G	H	I	J	K
1	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Кластер 4	1003500010001	1003500010002	1003500010004
2					1		
3							1
4					1		1
5					1		
6					1		
7					1		1
8					1		
9					1	1	
10					1	1	
11							1
12							1
13							
14							
42		Доля клиентов в кластере	100	Расст. до кластера 1	3,16227766	2	2,645751311
43		Доля клиентов в кластере	0	Расст. до кластера 2	3,16227766	2	2,645751311
44		Доля клиентов в кластере	0	Расст. до кластера 3	3,16227766	2	2,645751311
45		Доля клиентов в кластере	0	Расст. до кластера 4	3,16227766	2	2,645751311
46	Целевая функция	**1727,039929**		Мин. Расст.	3,16227766	2	2,645751311
47				Принадлежность	1	1	1

Рис. 132. Расчет мер близости объектов к кластерам

Минимизация суммы расстояний сделок каждого клиента до кластера выполняется за счет подбора весовых коэффициентов в столбцах E-H с помощью эволюционного поиска решения. Разумеется, чем точнее сходимость алгоритма поиска решения и чем больше время поиска, тем точнее разбиения. На рисунке 133 показаны результаты разбиения пар клиент/сделка по кластерам. При этом доля клиентов, отнесенных к кластеру 1, составила 22 %, к кластеру 2 – 17 %, к кластеру 3 – 28 % и к кластеру 4 – 33 %.

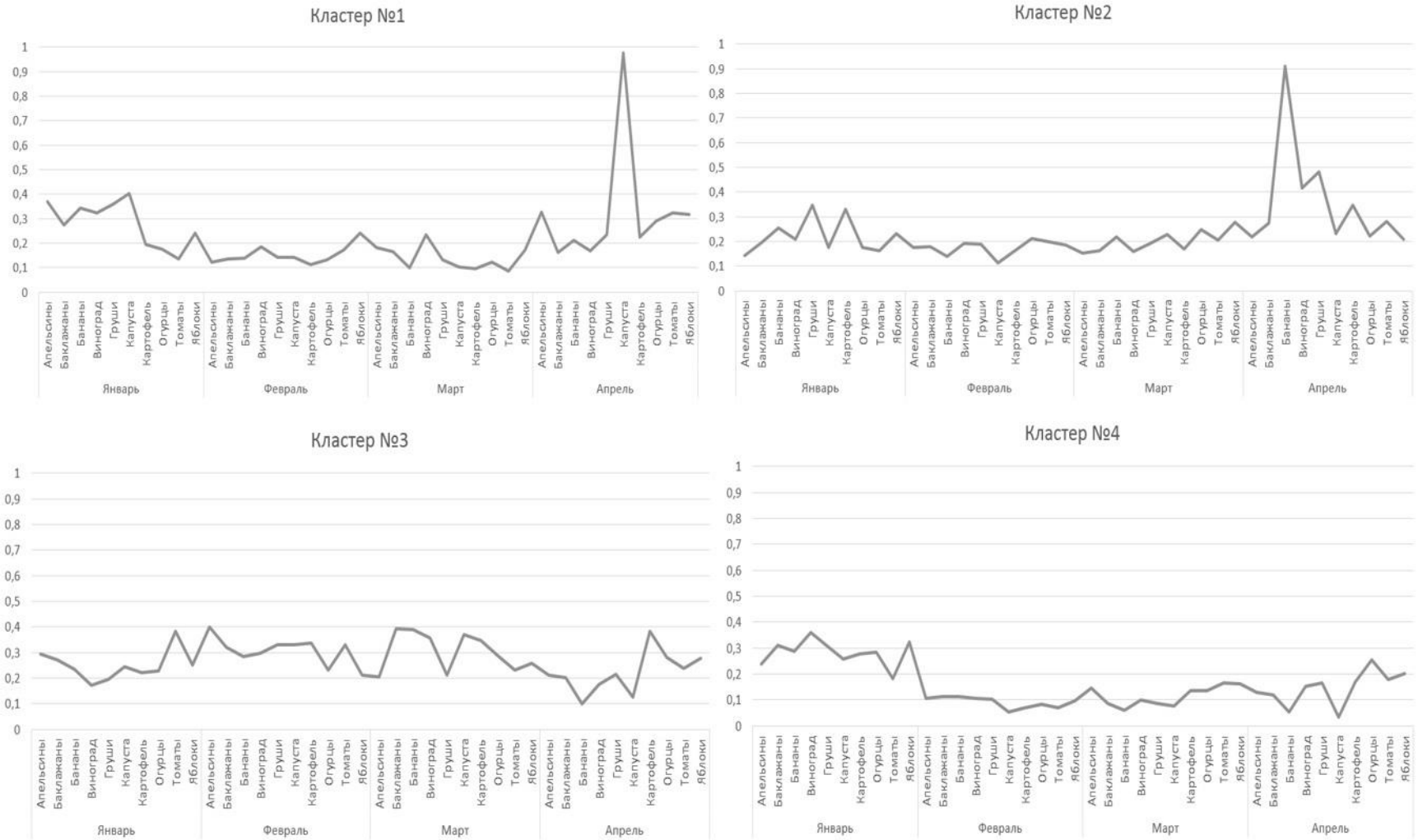


Рис. 133. Сегментация клиентской базы по типам сделок

На примере указанных признаков попытаемся интерпретировать полученное разбиение по кластерам. Так, например, кластер № 1, для которого наблюдается пиковый весовой коэффициент, равный 0,98, для сделки, которая характеризуется покупкой товара «капуста» в апреле, можно сделать вывод, что 22 % наших клиентов, которых можно идентифицировать, склонны покупать именно этот продукт в данное время. Также в данном кластере можно наблюдать множество мелких пиков среди весовых функций, которые означают не идеальное определение границ кластера. Кластер № 2 можно интерпретировать как покупателей, склонных покупать бананы и виноград также в апреле, но эта категория покупателей менее многочисленная и составляет всего 17 % от общего числа клиентов. Невысокие значения коэффициентов для остальных типов сделок также характеризуют, как могут себя вести и какие товары еще предпочитают клиенты в данном кластере.

Третий кластер имеет наихудшее разбиение и слабо поддается интерпретации, так как не имеет ярко выраженных пиков и по нему сложно определить намерения клиентов по приведенным товарам. Возможно, для этого необходимо провести дополнительное исследование, либо сократить, либо увеличить количество кластеров, а также увеличить количество признаков.

Последний четвертый кластер также не имеет пиков весовых коэффициентов, превышающих значение 0,5, однако внутри кластера наблюдается увеличение этих коэффициентов в январе относительно остальных временных интервалов. Это может означать увеличение покупательской активности 33 % клиентов на новогодние праздники, что в целом не противоречит здравому смыслу и подтверждает известную гипотезу.

У алгоритма *k*-средних существуют и недостатки, и кроме необходимости задания начального количества кластеров, например, зависимость результата выбора от исходных центров кластеров, однако в приведенном примере изначально все центры кластеров находятся в одной точке и их разбиение зависит лишь от работы эволюционного алгоритма поиска решения. Проведённые исследования показали, что при заданном количестве кластеров результат разбиения с теми же характерными особенностями остается неизменным, а изменяются лишь номера кластеров, что принципиально при интерпретации результатов.

Указанные методы позволяют эффективно выстраивать маркетинговую стратегию, опираясь на модели потребительского спроса отдельных групп покупателей на основе их намерений относительно выбора подходящего им товара. На основе предложенной методики удобно выполнять кластеризацию, не требующую использования сложного инструментария и программного обеспечения. Особенно полезным подход окажется для исследования моделей потребительского спроса, как с использованием данных о состоянии намерений покупателей в условиях информационной асимметрии, так и с использованием подходов без персонифицированного учета клиентов.

Список использованных источников (глава 4)

1. Рау В. Г., Кисляков А. Н., Тихонюк Н. Е., Рау Т. Ф. Принцип нарушения асимметрии в моделях развития экономических систем опыт и проблемы / Региональная экономика: опыт и проблемы. Материалы XI международной научно-практической конференции (Гутманские чтения) 15 мая 2018 года / под общ. ред. А. И. Новикова и А. Е. Илларионова. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2018. – 281 с. – С. 201-211.
2. Тихонюк Н. Е., Кисляков А. Н. Экономические модели работы с асимметрией информации: эволюция подходов / Региональная экономика: опыт и проблемы. Материалы XI международной научно-практической конференции (Гутманские чтения) 15 мая 2018 года / под общ. ред. А. И. Новикова и А. Е. Илларионова. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2018. – 281 с. – С. 236-244.
3. Прангишвили И. В., Иванус А. И. Системная закономерность «золотого сечения», системная устойчивость и гармония // Проблемы управления. – 2004. – № 2. – С. 2-8.
4. Поляков С. В., Кисляков А. Н. Основы математического моделирования социально-экономических процессов: учебно-методическое пособие. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС. 2017. – 269 с.
5. Winston W. Microsoft Excel 2016 Data Analysis and Business Modeling. – Microsoft Press, A Division of Microsoft Corporation, 2016.
6. Захаров А. В., Харламов А. В. К вопросу о применении имитационного моделирования методом Монте-Карло в задачах оценки фундаментальной стоимости объекта оценки //

Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2010. – № 5. – С. 28-45.
7. Наливкин Д. В. Использование последовательных методов Монте-Карло для оценивания рисков на финансовых рынках // Управление большими системами. – 2008. – № 21. – С. 71-83.
8. Мамий Е. А., Яхимович Е. С. Современные подходы к оценке рисков инвестиционных проектов // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2018. – № 5. – Т. 1. – С. 155-160.
9. Грибанова Е. Б., Каштанова О. В., Мицель А. А. Система имитационного моделирования торгов, проходящих в форме аукциона // Доклады ТУСУРа. – 2007. – № 1(15). – С. 63-70.
10. Кисляков А. Н. Фрактальный анализ в задачах прогнозирования социально-экономических процессов // Новая экономика и региональная наука. – 2018. – № 1 (10). – С. 36-39.
11. Кисляков А. Н. Использование фрактальной размерности в техническом анализе рынка крипотовалют // Ученые записки. – 2018. – № 1 (25). – С. 101-105.
12. Кисляков А. Н. Влияние фильтрации Фурье на точность прогноза социально-экономических показателей // Ученые записки. – 2017. – № 2 (22). – С. 78-82.
13. Кисляков А. Н., Савельев И. И. Исследование математических методов анализа и оценки качества государственных и муниципальных услуг, предоставляемых в электронном виде // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2018. – Т. 3. – № 10. – С. 48-52.
14. Попукайло В. С. Исследование линейной корреляционной связи в парных выборках малого объема // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2016. – № 1. – С. 27-32.
15. Попукайло В. С. Исследование линейной корреляционной связи в многомерном методе точных распределений // Информационно-управляющие системы. – 2016. – № 6 (85). – С. 96-98.
16. Кисляков А. Н. Методы оптимизации в экономике и управлении: учебно-методическое пособие. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2018. – 161 с.
17. Бадрызлов В. А., Сидельцев В. В. Оценка эффективности распространения информации в социальных сетях с использованием имитационного моделирования // Креативная экономика. – 2018. – № 9. – Т. 12. – С. 1359-1372.
18. Кисляков А. Н. Метод виртуального увеличения выборки при прогнозировании редких продаж в условиях рыночной асимметрии

// Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2019. – № 1. – Т. 2. – С. 47-54.
19. Савельева И. П., Никулин Д. Н. Оценка эффективности интернет-рекламы с помощью систем веб-аналитики // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2014. – № 3. – Т. 8. – С. 99-105.
20. Кисляков А. Н. Модель поведения участников розничного рынка топлива в условиях информационной асимметрии // Экономические отношения. – 2019. – Т. 9. – № 1. – С. 219-234.
21. Форман Д. Много цифр: Анализ больших данных при помощи Excel. – М. :Альпина Паблишер, 2016. – 464 с.
22. Hughes A. M. The Customer Loyalty Solution. – McGraw-Hill Professional, 2008. – 384 p.
23. Anderson Carl. Creating a Data-Driven Organization: Practical Advice from the Trenches. – O'Reilly Media, 2015. – 302 p.
24. Галямова А. Ф., Тархов С. В. Управление взаимодействием с клиентами коммерческой организации на основе методов сегментации и кластеризации клиентской базы // Вестник УГАТУ. – 2014. – Т. 18. – № 4 (65). – С. 149-156.
25. Андреева А. В. Оптимальное управление клиентской базой кампании на основе показателя долгосрочной стоимости клиента // Бизнес-информатика. – 2012. – № 4(22). – С. 61-68.
26. Белоцерковская М. Г. Кластеризация клиентской базы участников программы лояльности // Московский экономический журнал. – 2017. – № 2. – С. 112-119.
27. Цой М. Е., Щеколдин В. Ю., Лежнина М. Н. Построение сегментации на основе модифицированного RFM-анализа для повышения лояльности потребителей // Российское предпринимательство. – 2017. – Т. 18. – № 21. – С. 3113-3134.
28. Цой М. Е., Залешин П. А. Сегментация потребителей на основе изучения стилей покупательского поведения // Российское предпринимательство. – 2017. – Т. 18. – № 21. – С. 3313-3326.
29. Кисляков А. Н. Методы и инструменты анализа данных в экономике и управлении: учебно-методическое пособие. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2019. – 161 с.
30. Кисляков А. Н. Интеллектуальный анализ потребительского спроса в условиях информационной асимметрии //Современная экономика проблемы и решения. – 2019. – № 10. – С. 8-17.

Глава 5. «КЛЕЩЕВИДНАЯ» СИММЕТРИЯ (К-СИММЕТРИЯ) И ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ. ТАКСОНОМИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Построение методологии настоящего исследования основано на гипотезе, которая состоит в том, что процессы нарушения симметрии в природных, биологических и социально-экономических системах являются объективным закономерным свойством функционирования и эволюции этих систем, т.е. выступают мерилом изменчивости системы с целью адаптации этой системы к условиям внешней среды. В то же самое время симметрия этих же систем характеризует определенную степень их устойчивости.

Необходимо очередной раз подчеркнуть, что симметрия – понятие, отражающее существующий в природе порядок, пропорциональность и соразмерность между элементами какой-либо системы или объекта природы, упорядоченность, равновесие системы, устойчивость, т.е., если хотите, некий элемент гармонии.

Асимметрия – понятие, противоположное симметрии, отражающее разупорядочение системы, нарушение равновесия, и это связано с изменением, развитием системы.

Таким образом, из соображений симметрии-асимметрии приходим к выводу, что развивающаяся динамическая система должна быть с одной стороны в определенной степени устойчива, с другой – неравновесной и несимметричной [1].

Принимая подобное утверждение, сделаем предположение, что во главе угла развития (эволюции) систем при всех прочих возможностях стоит асимметрия, основой которой являются вероятностные состояния среды и многофакторность выбора пути, по которому определяется, производится выбор и реализуется вектор развития и становления системы.

С другой стороны, симметрия является той формой и содержанием системы, в рамках которой обеспечивается степень стабильности системы, т.е. практическая реализация конкретного состояния из множеств, вероятностно выбираемых.

Свойство асимметрии заложено в самой сущности симметрии системы, т.е., по сути, сама симметрия асимметрична.

Такая асимметричность системы, какой бы на первый взгляд сама система не выглядела симметричной, объективно выражается во внутренних противоречивых сущностях системы: формы и содержания, вероятностного и реального состояния, покоя и движения.

Соотношение условных уровней (степеней) беспорядка и упорядоченности, как известно, характеризуется уровнем энтропии. Именно степень беспорядка во внешней среде системы сформировала в эволюционном развитии системы свойство приобретения и нарушения симметрии.

Ряд гипотез утверждает, что основным источником эволюции систем является механизм восстановления нарушенной симметрии. Остается открытым вопрос о причинах возникновения асимметрии, а также в какой момент возникает дисбаланс.

Следует предположить, что понимание такого перехода системы из симметричного относительно устойчивого состояния в состояние нарушенной симметрии возможно с исследованием границы, точки перехода одного состояния в другое и обратно.

Логично предположение, что существует некая условная точка соотношения таких динамических процессов (образно говоря, граница, «черная дыра», через которую происходят «переливания» асимметрии в симметрию и обратно).

Именно в такой точке происходит запуск механизмов бифуркации. В математике и физике давно используется категория центра симметрии, который представляется некой математической точкой.

В реальных системах объективно наблюдается переход из состояния относительной устойчивости, при прочих равных связанной с симметрии, к неустойчивому состоянию, которое в определенной степени может характеризоваться состоянием нарушенной симметрии, т.е. асимметрией.

В этих системах недостаточно, более того, неприемлемо существование реальной структуры или функции в виде математического представления.

В отличие от условной математической точки симметрии такая область симметрии-асимметрии в реальных системах условно может быть названа «центром симметрии-асимметрии».

Центр симметрии-асимметрии в большей степени может характеризоваться скалярной размерностью, но вместе с тем имеет и пространственно-временные характеристики.

Центр симметрии – точка пересечения элементов и функций симметрии-асимметрии в конкретно взятой системе.

Центр симметрии – условная точка соразмерности, в которой соотнесены вероятностная изменчивость системы и уровень её реальной устойчивости.

Симметрия системы есть реализованное системой подчинение асимметрии (хаоса) внешней среды. Асимметрия – вероятностное состояние системы. Симметрия – реальное «информационное» состояние системы. Такой механизм «владения» пространством и закрепления своей сущности в форме и содержании в жестких рамках симметрии обеспечивается системой скачкообразно, универсальными методами, наряду с другими, свойствами фракталов.

Отсюда, в общем смысле понятие симметрии гораздо шире, и ее можно понимать как неизменность (инвариантность) каких-либо свойств объекта по отношению к преобразованиям, операциям, выполняемым над этим объектом.

В одних случаях симметрия – это однородность, а в других – соразмерность.

Отдельные исследователи [2] приходят к заключению, что к общим определениям понятий симметрии и асимметрии можно подойти исходя из следующих положений.

Во-первых, нужно признать, что эти понятия относятся ко всем известным нам атрибутам материи, что они отражают взаимные связи между ними.

Во-вторых, эти понятия основываются на диалектике соотношения тождества и различия, существующей как между атрибутами материи, так и между их состояниями и признаками.

В-третьих, нужно иметь в виду, что единство симметрии и асимметрии представляет собой одну из форм проявления закона единства и взаимоисключения противоположностей.

Правильность этих отправных положений может быть доказана как выводом их из многочисленных частных определений симметрии и асимметрии, так и правильностью их следствий, т. е. необходимостью и всеобщностью определений симметрии и асимметрии, полученных на их основе.

В многочисленных работах, в которых рассматриваются в той либо иной степени вопросы и проблемы исследования симметрии, подчеркивается, что «симметрия и асимметрия являются объективными свойствами природы, одними из фундаментальных в современном естествознании. Симметрия и асимметрия имеют универсальный, общий характер как свойство материального мира» [3].

Непосредственной логической основой для определения понятия симметрии является диалектика тождества. Симметрия связанна понятием «тождество».

Тождество проявляется только в определенных отношениях и в определенных процессах; тождество всегда конкретно.

К тождеству можно отнести: равновесие, равнодействие, сохранение, устойчивость, равенство, соразмерность, повторяемость и т. д. Таким образом, именно симметрия обеспечивает системе в определенной степени уровень устойчивости.

Тождество – динамическая сущность системы: оно возникает, становится и развивается. Отсюда диалектическая связь тождества с различием.

Соглашаясь с мнением абсолютного большинства исследователей, что симметрия и асимметрия являются некими фундаментальными сущностями систем, вместе с тем в доступных источниках нами не найдено положения об истинном раскрытии фундаментальной сущности связки «симметрия-асимметрия».

Проще говоря, несмотря на признание одним из основных свойств симметрии обеспечение системе некой устойчивости, до настоящего времени не вскрыта определенная целевая функция системы в её частном свойстве, которым признается симметрия.

А именно, каким же образом обеспечивается эта устойчивость, за счет каких механизмов и взаимоотношений соотносятся состояния внутренней среды системы и внешних её факторов, в которых в данный момент функционирует система или вероятностно будет функционировать через определенное время в процессе своей эволюции? Что является центром симметрии, и каковы фундаментальные соотношения состояний симметрии и асимметрии системы?

По нашему убеждению, понимание и вскрытие сути взаимоотношений симметричных частей, влияние этого взаимоотношения на устойчивость и изменчивость конкретной системы, ее эволюцию есть та область научного исследования, поиски в которой могут увенчаться новыми открытиями.

Такое предположение направления исследовательской мысли, в частности, подтверждается следующим.

В настоящее время в онтогенетической биологии билатеральная симметрия как таковая и отклонения от нее обычно остаются без внимания, так как принимаются за побочный продукт моделей формирования.

Это явление просто выходит за рамки обычных правил: нет специализированных онтогенетических механизмов, которые бы отвечали за формирование билатеральной симметрии самой по себе.

Направление и этап развития клетки определяются ее локализацией в трехмерном пространстве. При этом левая и правая стороны тела назначаются после установления первых двух осей: передне-задней и спинно-брюшной. Однако третья ось – это не лево-правая ось сама по себе, а скорее проксимо-дистальная: клетки определенной стороны тела принимают онтогенетическое решение на основе их положения по отношению к средней линии. Так как развитие клетки происходит в трех этих осях, то формирование билатерально симметричных структур – это неизбежный результат.

С флуктуирующей асимметрией связана одна из важных проблем современной биологии – упорядоченное выражение генотипа как комплексного трехмерно-пространственного фенотипа [4].

В процессе проведения настоящего исследования по разработке методологии единой концепции сохранения и нарушения симметрии в природных, биологических и социально-экономических системах нами доказана, в определенной степени, универсальность симметрии и свойств групп нарушения симметрии; вскрыты определенные свойства в сохранении и адаптации систем к внешней среде; представлены частные случаи, обосновывающие фундаментальный смысл сохранения и нарушения симметрии систем.

Симметрия выступает как закрепленная во времени и пространстве относительно устойчивая форма функционирования и эволюции системы.

Симметрия – это свойство, функция и вероятностно высшая степень адаптации системы к условиям и факторам внешней среды.

В природе не установлено систем с абсолютной симметрией, ибо в противном случае абсолютная симметрия исключила бы любые противоречия системы, а следовательно, лишила систему процессов функционирования и эволюции.

Именно асимметрия (в частности, флуктуирующая асимметрия) является тем условием, при котором система относится к одной из многочисленных групп нарушенной симметрии и в этом состоянии обладает свойствами развития.

Симметрия и асимметрия как конкретные состояния не могут рассматриваться в отрыве одно от другого, а являются свойством, составляющим единство одного и того же состояния системы. Лишь их определенное соотношение в той либо иной степени обеспечивает относительную статичность системы и в то же время динамику ее функционирования. Поэтому корректно следует говорить о системе «симметрия-асимметрия».

Симметрия-асимметрия – это свойство системы аккумулировать и сохранять пространство в «своих интересах», обеспечивая уровень своей устойчивости.

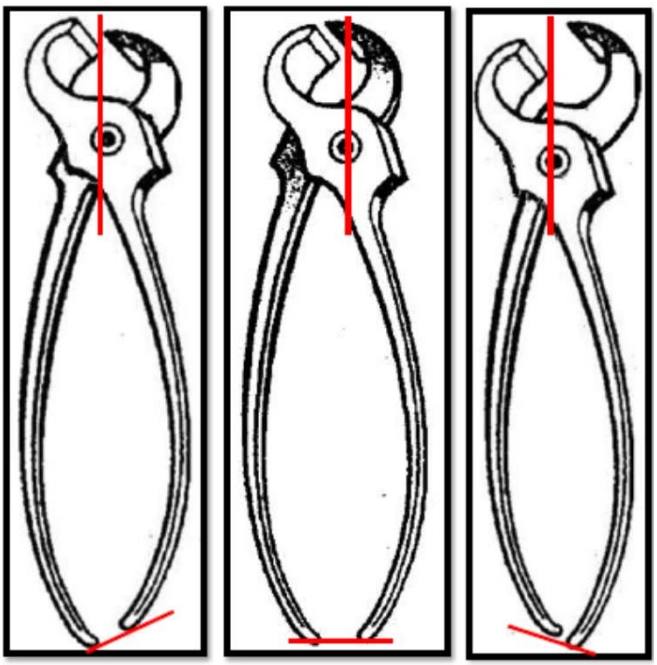
Симметрия системы обеспечивается двумя сопряженными сторонами материальной формы этой системы и (или) двумя составляющими процессов её функционирования.

Таким образом, одно из возможных свойств симметрии систем, независимо от их принадлежности, есть реализация возможности захвата определенного объема внешней среды (пространства).

Система как бы охватывает свое вероятностное состояние и посредством диалектического единства формы и содержания (своей структуры и функций) обеспечивает, с одной стороны, вероятность своей устойчивости, с другой – реализует реальность своего существования в границах пространства подчиненной внешней среды.

Подобный механизм существования и эволюции систем назван нами клещевидной симметрией (К-симметрией).

Для упрощенного понимания фундаментальной сути клещевидной симметрии позволим себе привести условную аналогию с клещами слесарными (рисунок 134).



а б в

Рис. 134. Условное представление симметрии и флуктуирующей асимметрии: а – левосторонняя асимметрия; б – классическая киральная симметрия; в – правосторонняя асимметрия

На рисунке 134, б, рукоятки (бранши) и губки щипцов, соединенные винтом, представляют симметричную систему. Умозрительно, такой инструмент позволяет тождественно раскрывать губки и эффективно устойчиво захватывать предметы. Функции губок по захвату однозначны, а состояние рукояток устойчиво.

Рисунок 134, а, в, иллюстрирует смещение частей щипцов – элементы асимметричны, и состояния условно обозначены как левосторонняя и правосторонняя асимметрия (уровень устойчивости представлен красными метками рукояток).

Подобные состояния инструмента характеризуют функциональный дисбаланс системы: захват губками неэффективен, а состояние рукояток неустойчиво.

Как известно, в качестве показателей, характеризующих степень дисбаланса проявления какого-либо признака, часто используется коэффициент Джини.

Применительно к кластерному анализу показатель энтропии чаще используется для оценки качества разделения между кластерами по признакам, а коэффициент Джини, получивший еще название «Кривая Лоренца», является метрикой качества прогностических моделей в задачах классификации в условиях дисбаланса классов целевой переменной.

На рисунке 135 изображен пример, показывающий зависимость доли точек в *i*-м кластере (от общего количества точек в выборке) от доли номера кластера (от общего количества кластеров). Так, например, для 4 кластеров доля первого кластера будет составлять 0,25 (25 %), и этот кластер будет содержать в себе 25 точек из 100, поэтому на графике будет отображаться точка (0,25; 0,25). Если все кластеры имеют одинаковое количество точек, то наблюдается абсолютная симметрия в группах разбиения и коэффициент Джини равен нулю, соответственно дисбаланс описывается площадью, ограниченной ломанной кривой Лоренца и кривой абсолютной симметрии, и рассчитывается по формуле:

$$G = 1 - \sum_{k=1}^{n} \left(X_k - X_{k-1} \right) \cdot \left(Y_k + Y_{k-1} \right), \; G \in [0;1], \qquad (5.1)$$

где n – количество кластеров; X_k – кумулятивная доля количества кластеров; Y_k – кумулятивная доля количества точек в кластере.

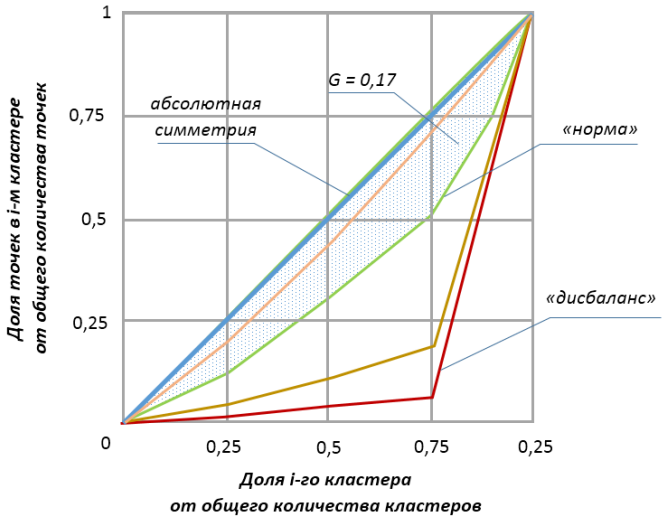


Рис. 135. Интерпретация коэффициента Джини для задачи кластеризации (на примере 4 кластеров)

Клещевидная симметрия (К-симметрия) фундаментально присуща физическим системам, в которых в большей степени приближения к условному абсолютному состоянию преобладают свойства устойчивости.

Биологические и социальные системы приобретают подобное свойство в процессе своей эволюции.

Таким образом, условная модель клещевидной симметрии системы может быть представлена следующим образом (рисунок 136).

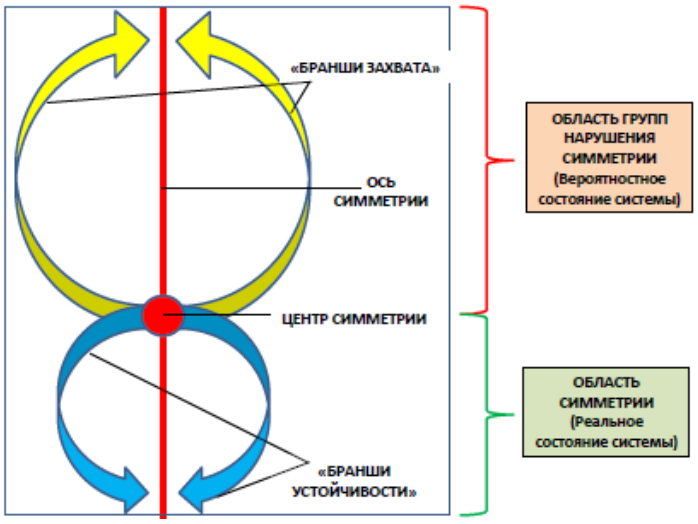
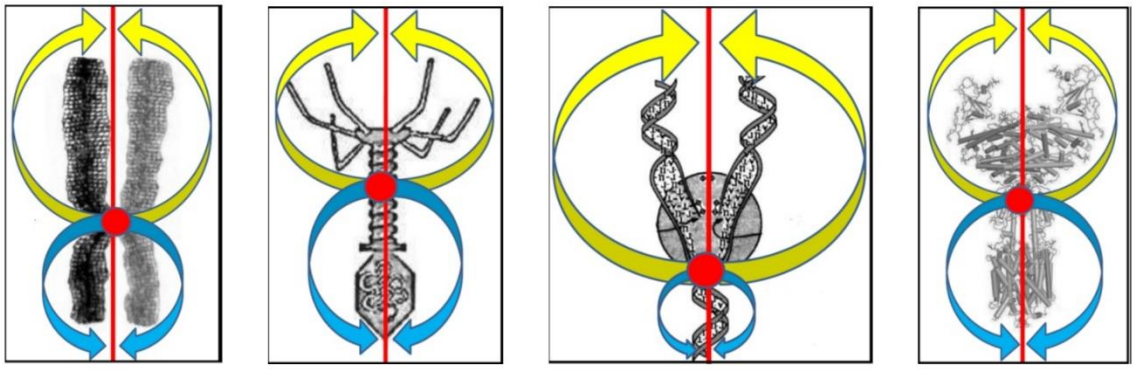


Рис. 136. Условная модель клещевидной симметрии (К-симметрии)

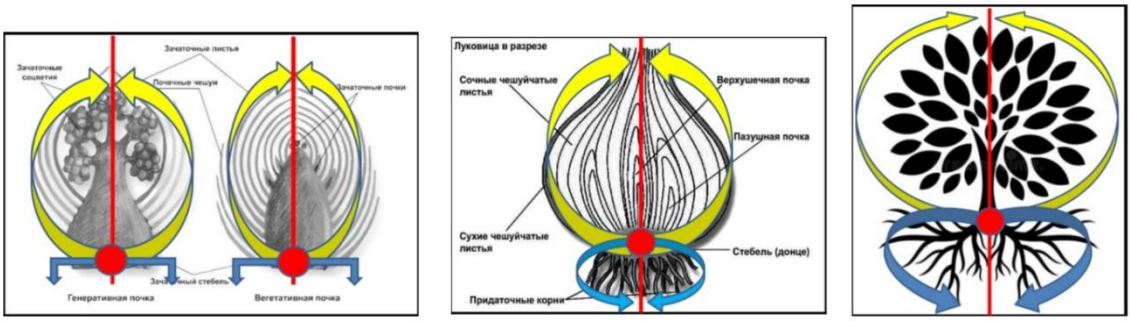
Частные формы реализации и обеспечения состояния симметрии системы с высокой долей вероятности можно подтвердить следующими примерами К-симметрии систем и функций (рисунки 137-141).

Примеры клещевидной симметрии



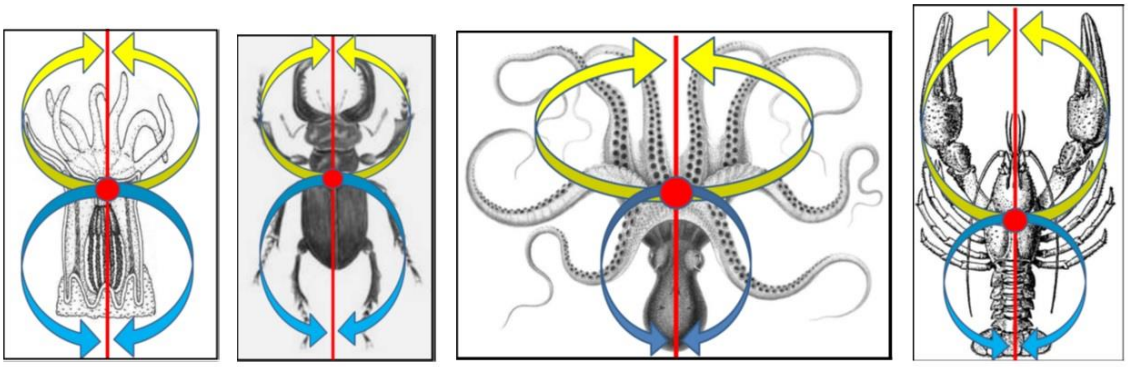
а *б* *в* *г*

Рис. 137. Микромир: а – хромосома; б – бактериофаг; в – спираль ДНК; г – шип коронавируса



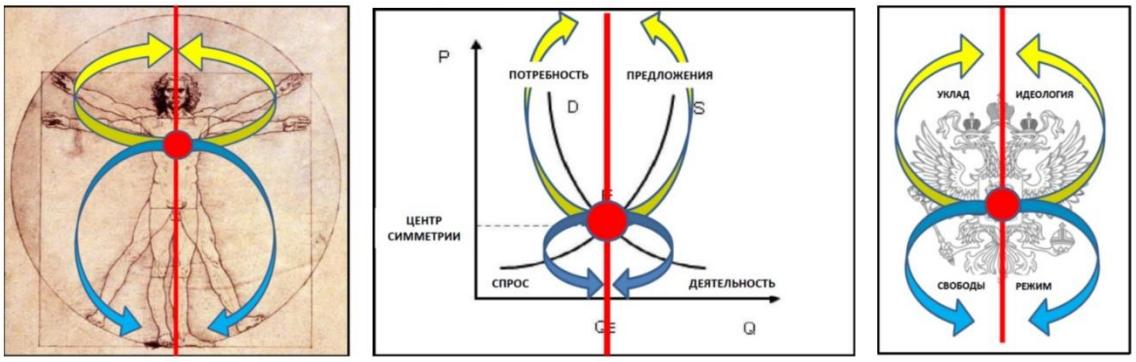
а б в

Рис. 138. Растительный мир: а – растительная почка; б – луковица растения; в – дерево



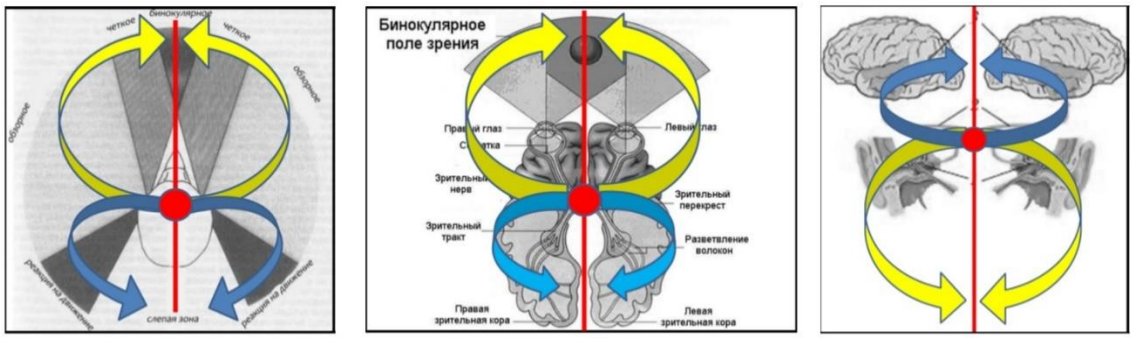
а б в г

Рис. 139. Животный мир: а – коралловый полип; б – жук; в – осьминог; г – рак



а б в

Рис. 140. Социальные системы: а – человек; б – рынок; в – государство



а б в

Рис. 141. Функции ориентирования в пространстве: а – поля зрения птицы; б – бинокулярное зрение; в – бинауральный слух

Представленная в настоящей главе скромная попытка методологии исследования и таксономии требует своего дальнейшего развития.

Установленные закономерности формирования соотношений уровней симметрии и флуктуирующей асимметрии в течении индивидуального развития систем требуют подтверждения при изучении описанного явления с использованием других видов систем.

Несмотря на проведенное исследование, многие прикладные и теоретические вопросы данного направления остаются в определенной степени открытыми, что требует своего научно-исследовательского продолжения, в частности в рамках деятельности вновь созданной во Владимирском филиале РАНХиГС лаборатории «Кластерного анализа процессов роста и эволюции систем».

Список использованных источников (глава 5)

1. Готт В. С. Удивительный неисчерпаемый познаваемый мир. – М. : Знание, 1974. – 224 с.
2. Овчинников Н. Ф. Философские проблемы классической и неклассической физики. Современная интерпретация. – М. : ИФРАН, 1998.
3. Предмет и структура естествознания [Электронный ресурс]. URL: https://helpiks.org/7-70772.html.
4. Зорина А. А. Формирование флуктуирующей асимметрии в процессе индивидуального развития Betula pendula // Принципы экологии. – 2014. – № 4. – С. 31-52.
5. Кисляков А. Н. Показатели асимметрии в задачах изучения поведенческой активности пользователей продукта // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2020. – № 3 (123). – С. 110-116.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В монографии рассматриваются вопросы, связанные с исследованием групп симметрии и её нарушениями в природных (в данном контексте физико-химических), биологических и социально-экономических системах.

Методом случайного нарушения симметрии определены новые операции, которые образуют замкнутое подмножество преобразований, таблица произведения которых не является таблицей Кэли, так как операции подстановок не явились классическими перестановками, для них оставлен термин «подстановки с дефектом».

Новым подходом в понимании принципа нарушения симметрии является разработка «визуализации» абстрактных групп симметрии, а оригинальным – обнаружение и компьютерный расчет групп нарушенной симметрии (ГНС) ранее нигде не использованных в научных исследованиях систем, в том числе и при описании процессов эволюции. В частности, в наших исследованиях молекулярных структур, а затем и модельных компьютерных экспериментах были обнаружены среди ГНС «особые» группы нарушенной симметрии, названные «римскими» множествами, визуализация преобразований в которых представляется «спиралью эволюционного роста».

В процессе выполнения работы разработана методика расчета динамики эволюционных процессов с помощью групп нарушенной симметрии, что позволило приблизиться к пониманию проблемы эволюционного развития на уровне математических и имитационных моделей. Полученные на начальной стадии исследования групп нарушенной симметрии являются абсолютно новыми.

В ходе работы было показано, что множества преобразований с нарушенной симметрией относятся к полугруппам, которые, как известно из математики, удовлетворяют требованиям ассоциативности и не всегда имеют «обратные» операции.

Выполнение целей проекта на основе математической модели групп нарушенной симметрии позволило представить гипотезу, что с момента зарождения нашей Вселенной (в «стандартной» модели) до развития интеллекта и создания социальных систем все этапы и ветви эволюции имели общую концептуальную модель, подобную «квантовой теории неабелевых калибровочных полей со спонтанно нарушенной симметрией».

Подтверждено, что механизмы самоуправления организационных структур имеют много общего, т.е. в определенной степени фундаментальны. И такое подобие определено тем, что любая организованная динамическая система состоит из подобия определенных элементов и характеризуется определенными функциями и состояниями.

На самом высшем уровне любая организация может быть представлена: формой, выраженной в виде определенной конструкции; содержанием, вскрывающим взаимоотношения элементов системы; вероятностными состояниями с высокой степенью неопределенности и беспорядка, определяющими выбор пути развития системы из множества возможных; реальным истинным своим состоянием (конкретным соотношением формы и содержания) в определенный конкретный момент времени, состоянием, которое характеризуется абсолютным уровнем информационной упорядоченности системы; пространственно-временным расположением, т.е. относительным соотношением внутренней и внешней сред организации.

В процессе понимания диалектического единства структуры и содержания любой организации была выдвинута гипотеза, что составляющие всех систем без исключения, их элементы и характеристики, находятся в определенной зависимости друг от друга и соответствующим образом связаны между собой.

Наивысшая степень стабильности внутренней среды организации обеспечивается построением относительно равновесных связей в рамках соответствующей конструкции организации, при которой элементы, составляющие эту организацию, находятся в определенной закономерной зависимости. Исследования показали, что подобная конструкция организаций представляет собой абсолютную структуру множества видов симметрии, в частности киральной, что в очередной раз подтверждает принцип сохранения симметрии Ле Шателье – Брауна. А функциональная динамичность любой организации связана с нарушением симметрии. Такое нарушение заложено в самой сущности киральности, при которой обеспечивается скрытая функциональная противоречивость множеств соответствующих пар элементов, системно составляющих структуру организации.

Установлено, что такая противоречивость кратного числа конкретных элементов системы, с одной стороны, уравновешивается в

сущности третьего элемента для каждой пары кратности (Гегелевская триада), что определяет устойчивость системы.

Высшая степень такой устойчивости характеризуется симметричностью элементов и функций.

С другой стороны – динамичность, эволюция системы связана с процессами, вызываемыми определенной степенью противоречивых сущностью кратных элементов и функций. Именно такие состояния характеризуются асимметрией. Асимметрия взаимосвязанных структурно-функциональных элементов и характеристик системы приводит к определенной степени неустойчивости (повышению степени энтропии), продуцирует динамические процессы в системе и через вероятностную последовательность множества бифуркаций обеспечивает эволюционное изменение системы. Такие универсальные изменения всех известных нам систем в работе описаны семейством структур ориентированных графов.

Таким образом, в нашем исследовании доказано, что для понимания сущности функционирования системы (процесса), т.е. нарушения ее устойчивости в форме определенного вида симметрии, необходимо учитывать степень энтропии как определяющую сущность бифуркаций процесса эволюции системы.

Проще говоря, переход системы из одного устойчивого состояния, характеризующегося определенным видом симметрии, в другой происходит через состояние асимметрии её формы либо содержания, что фундаментально связано с обязательной степенью роста и снижения энтропии системы.

Универсальность моделей нарушения симметрии подтверждена результатами исследования сложных кристаллических структур, а универсальность и определенное подобие циклов развития систем представлено исследованиями типов и видов циклов в физических системах (в частности в моделях циклов электромагнитных систем), в клетках живых организмов (в частности в спирали ДНК), в экономических системах (в частности описание асимметрии регионального социально-экономического развития), в социальных системах (в частности в моделях маркетинговых отношений, государства и пр.).

Таким образом, результаты настоящего частного исследования позволили сделать научно обоснованный вывод, что возникновение асимметрии в эволюционном развитии любых систем есть следствие действия объективных законов и асимметрия выступает как

фундаментальное свойство системы, характеризует её вероятностные состояния с определенной степенью энтропии. Асимметричные системы не устойчивы по своей сущности, они в высшей степени динамичны по своей асимметричной природе.

Таким образом, в работе на множестве примеров теоретического и прикладного характера научно обосновано утверждение, что в известных нам природных, биологических и социально-экономических системах функциональная динамичность организации связана с нарушением симметрии. Такое нарушение заложено в самой сущности структурно-функциональной организации системы, что характеризуется свойством киральности.

Вскрытые определенные закономерности симметрии и асимметрии форм, элементов и характеристик различных прикладных систем в определенной степени доказывают принцип абсолютного изоморфизма природных, биологических и социально-экономических систем.

Пространственно-временная устойчивость и эволюция организаций характеризуется относительной системой координат внутренней среды организации, включающей в себя четыре вектора с условными точками, обозначающими: N – форму, E – содержание, P – вероятностное состояние, B – реальное состояние системы. Форма как реальное состояние системы условно характеризуется симметрией, в то время как вероятностное состояние формируют процессы, реализованные в условиях асимметрии.

Вероятностная эволюция организации реализуется процессами бифуркации во внешней среде организации, которая в свою очередь описывается абсолютной системой координат с метками, соответствующими условным координатным точкам внутренней среды организации.

В этом суть единства и специфичности внутренней и внешней сред организаций.

В работе вскрыта и описана функциональная взаимозависимость этих составляющих.

Такая универсальная простейшая модель, характеризующая закономерность связей элементов и характеристик организации, условно названа нами «фасеткой».

Было установлено, что организации в своем модельном исполнении представляются как структуры, логически сложенные из множества элементов подобия («фасеток»), т.е. любые системы

характеризуются структурно-функциональной однотипностью. Такое подобие вскрывается и прослеживается на любых определенных иерархических уровнях моделей организации. В научной литературе в приложении к системам такое вложенное подобие понимается и описывается как фрактальность, что в свою очередь в определенной степени связано с сущностью симметрии.

Изложенные подходы исследования групп симметрии, её нарушений в различных организационных системах, понимание и вскрытие универсальных свойств моделей симметрии и асимметрии вовсе не претендуют на абсолютную новизну.

Более того, абсолютное большинство аспектов исследования лишь в определенной степени являются развитием устоявшихся ранее существующих представлений о формах и сущностях организаций вообще и социальных в частности.

П.1. Компьютерные программы для моделирования малых кластеров, банки структурных данных, программы расчета таблиц преобразований

Кембриджский банк структурных данных (КБСД) – база Cambridge Structural Database разрабатывается Кембриджским кристаллографическим центром с 1965 года. Эта база является всемирным хранилищем информации о низкомолекулярных органических и металлоорганических кристаллических структурах; в ней имеются данные о координатах атомов, угловых и линейных межатомных параметрах, определенных в результате рентгеновских и нейтронных дифракционных анализов. Библиографические и химические сведения дополняют записи базы данных вместе с информацией о физических свойствах. Cambridge Structural Database представляет собой самую полную и наиболее систематизированную базу кристаллографических данных. CCDC имеет много вариантов поиска кристаллических структур по таким параметрам, как: название, химическая формула, элементный состав, литературный источник, детали эксперимента, фрагменты структуры [3].

В данной работе будет продемонстрирована работа вышеописанного хранилища структурных данных CCDC версии 5.29. Стоить отметить – в программе перед началом работы следует открыть соответствующую базу данных (Databases). Для начала выберем структурный элемент антрацен (рефкод: ANTCEN).

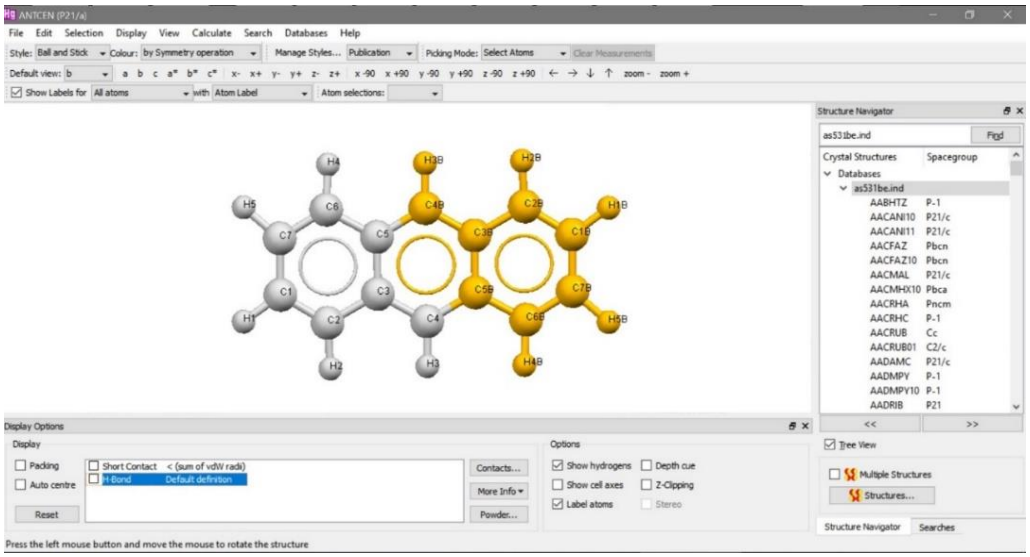


Рис. П.1.1. Рабочее окно программы КСБД

Имеется возможность менять вид моделей кластеров (рисунок П.1.2).

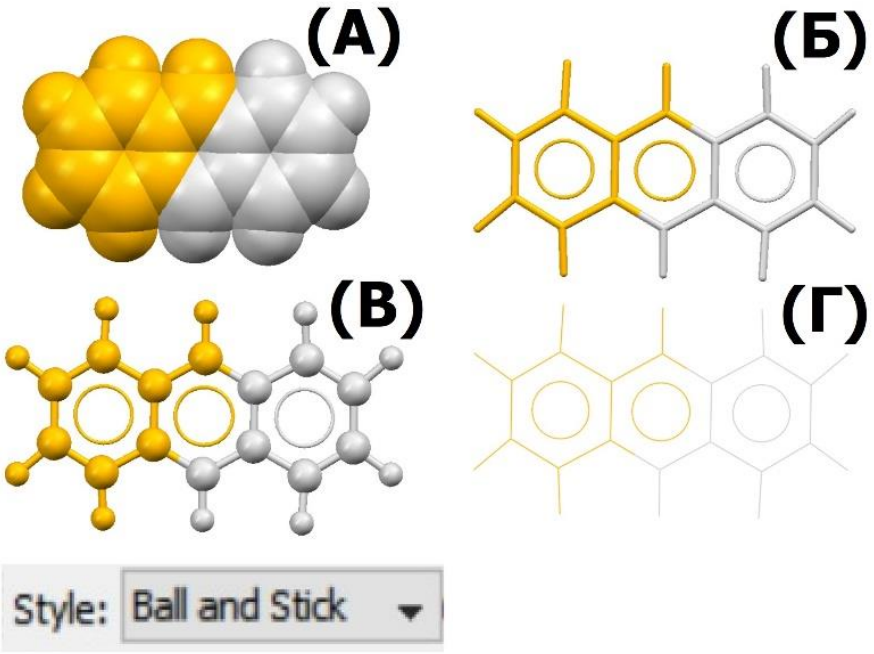


Рис. П.1.2. Виды моделей антрацена: а – геометрическая, б – граф, в – шаро-стержневая, г – нитиевидная

Для того чтобы посмотреть всю информацию о данной молекуле, перейдем в соответствующее окно: «More Info» → «Structure Information» (рисунок П.1.3).

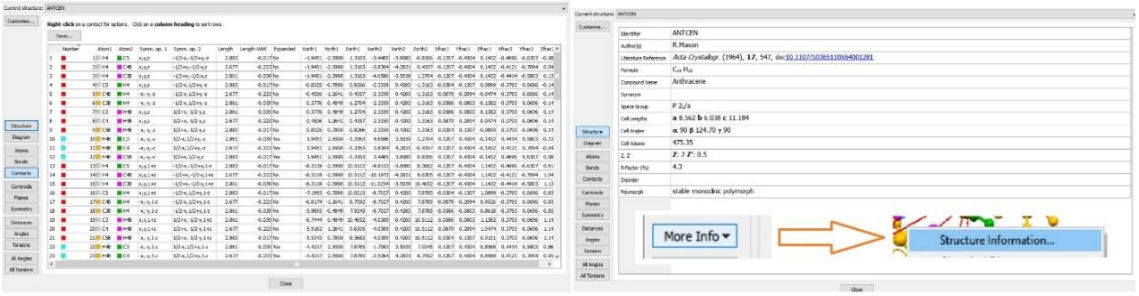


Рис. П.1.3. Структурные данные молекулы антрацена

Чтобы вернуться в главное окно – нажмем кнопку «Close». Также можно визуализировать элементарную ячейку, отметив соответствующий параметр «Packing» (рисунок П.1.4).

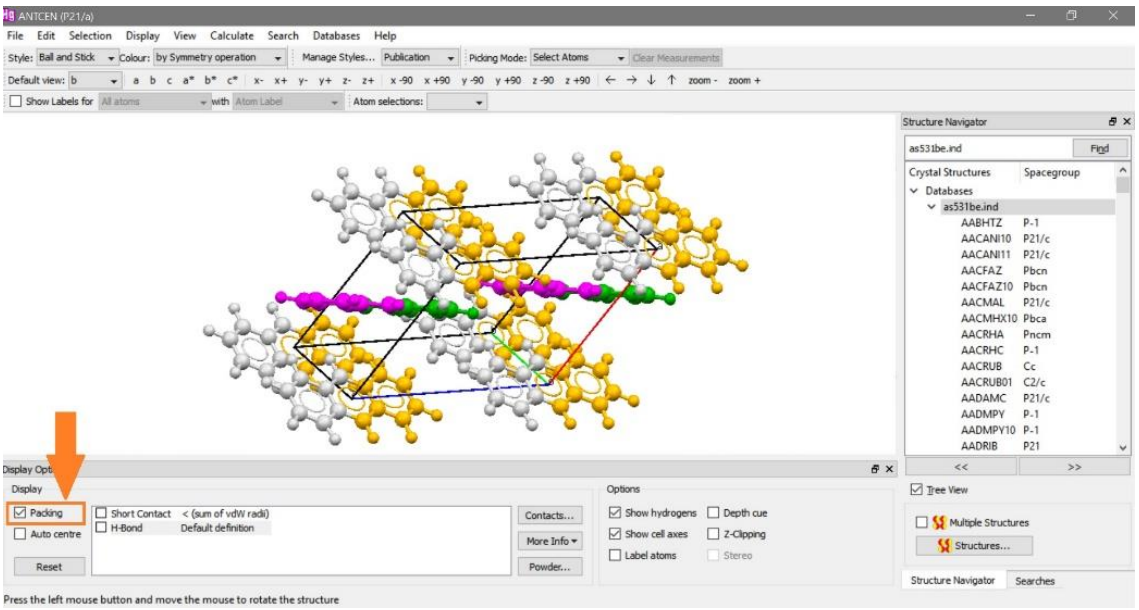


Рис. П.1.4. Визуализация элементарной ячейки

Чтобы отобразить ближайшие связи с соседними молекулами, нужно отобразить параметр «Short Contact» (рисунок П.1.5).

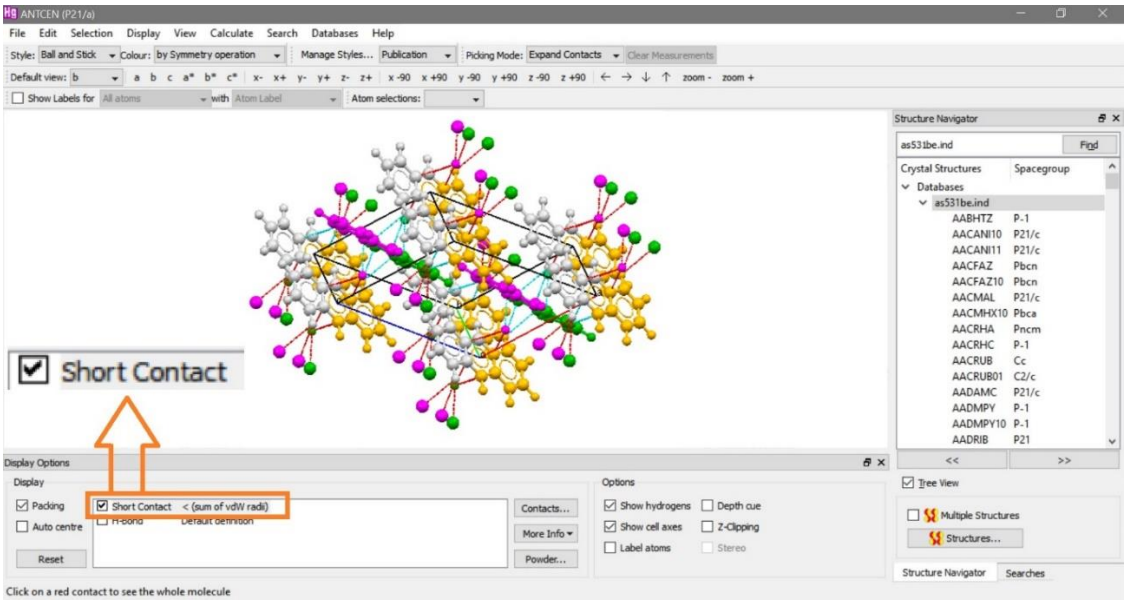


Рисунок П.1.5. Отображение связей с ближайшими ячейками

Выбрать распределение цвета атомов по элементу или пространственной симметрии можно в меню «Colour» (рисунок П.1.6).

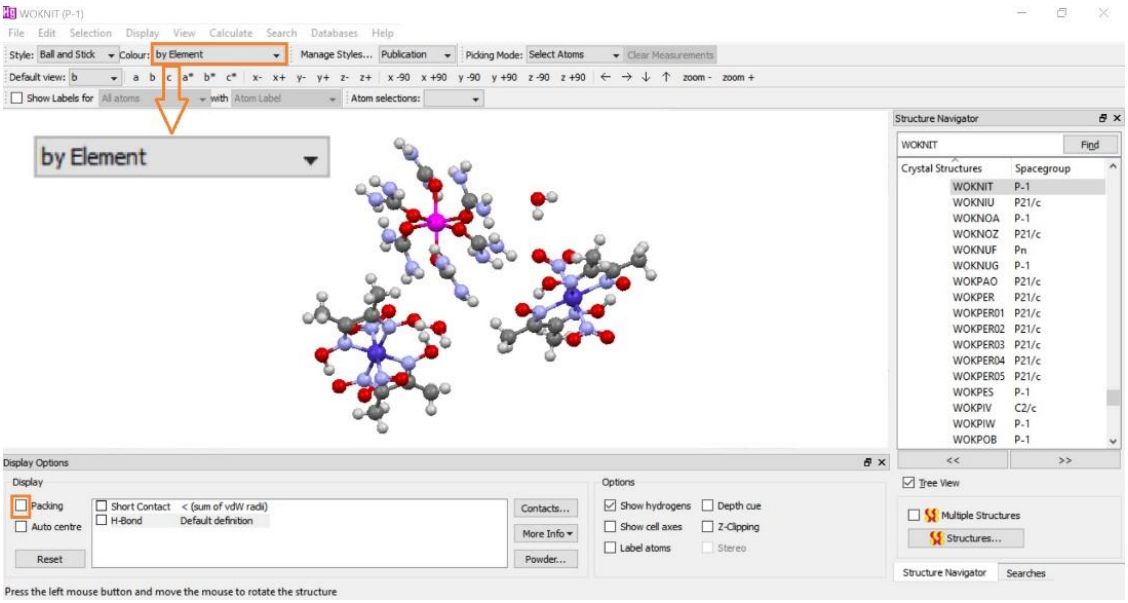


Рис. П.1.6. Выбор цвета для отдельных атомов

Далее выберем структуру комплексного октаэдрического катиона $[Me(urea)6]^{+2,+3}$ с внутрикомплексными водородными связями. В международной базе данных Кембриджского банка молекулярных соединений для данного катиона имеется рефкод WOKNIT. Для выбора данной структуры найдем ее в базе данных по рефкоду (рисунок П.1.7).

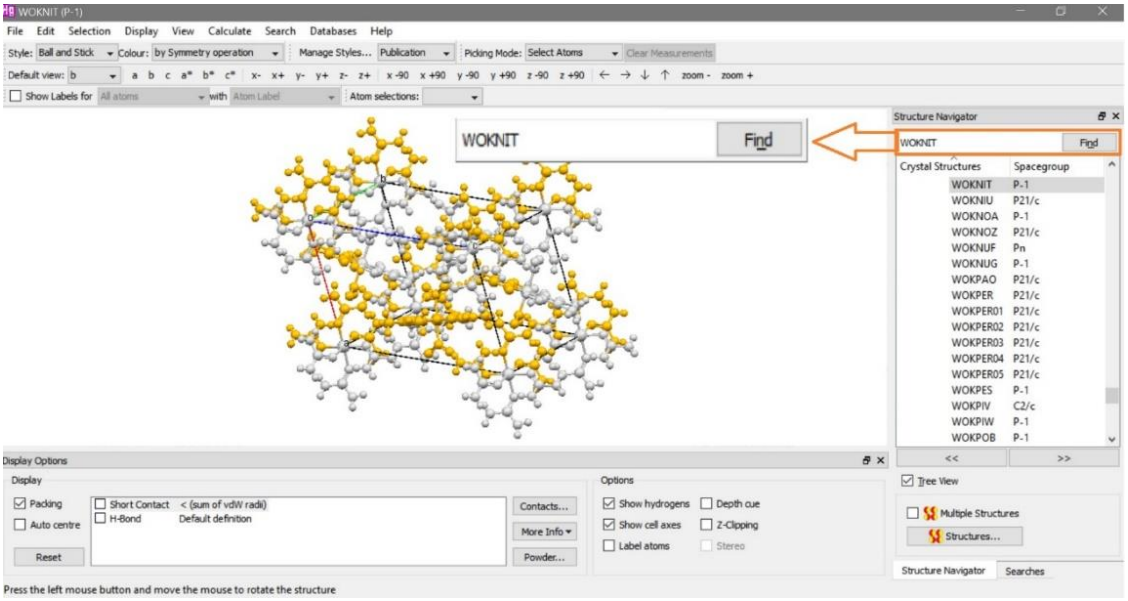


Рис. П.1.7. Модель элементарной ячейки катионов карбамида

Для ознакомления откроем окно структурных данных октаэдрического катиона (рисунок П.1.8).

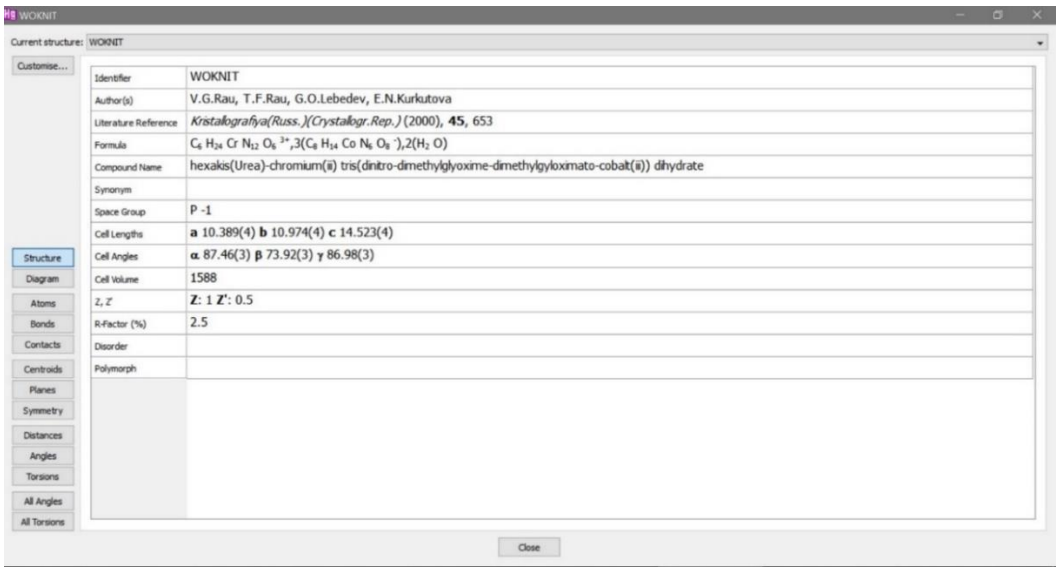


Рис. П.1.8. Структурные данные октаэдрического катиона [Me(urea)6]$^{+2,+3}$

П.2. Молекулярный дизайнер

Программа «Молекулярный дизайнер» позволяет моделировать процесс перестановки водородных связей вокруг атома металла. Программа работает на PC под управлением Windows XP и выше. Чтобы начать процесс моделирования нужно запустить программу 3DMolecularDesigner.exe.

1. Открывается рабочее окно программы (рисунок П.2.1). Повороты структуры производятся «мышкой» в Окне программы.

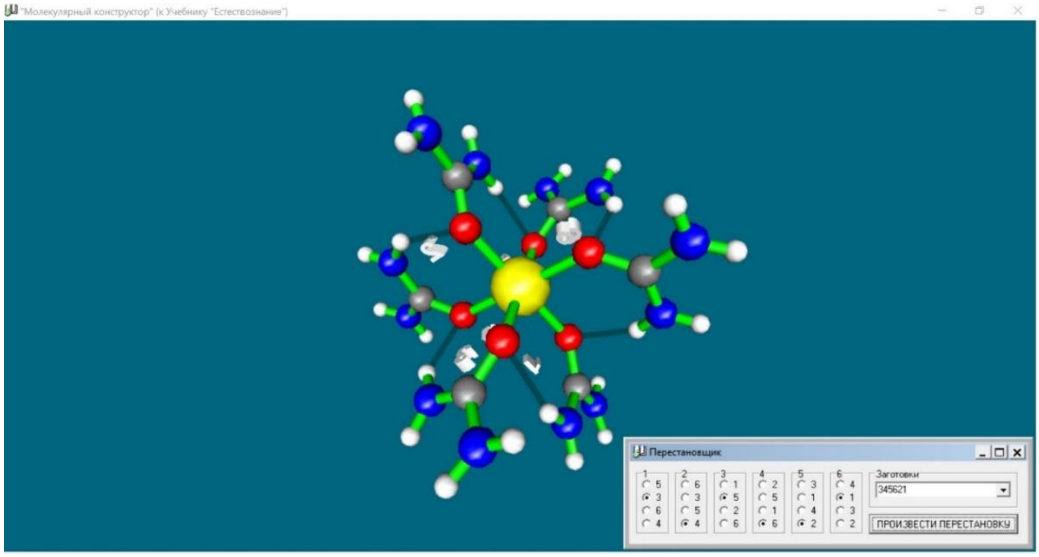


Рис. П.2.1. Рабочее окно программы «Молекулярный конструктор»

2. Подпрограмма «Перестановщик» под основным окном со структурой определяет перестановку водородных связей, то есть перестраивает структуру и ее симметрию. Для удобства работы подпрограммы ее размеры следует расширить, выделить точками новые положения связей и дать команду: произвести перестановку. В этом же окне подпрограммы есть примеры заранее произведенных перестановок, которыми можно воспользоваться, нажав кнопку «ПРОИЗВЕСТИ ПЕРЕСТАНОВКУ», и увидеть результат после введения команды (рисунок П.2.2).

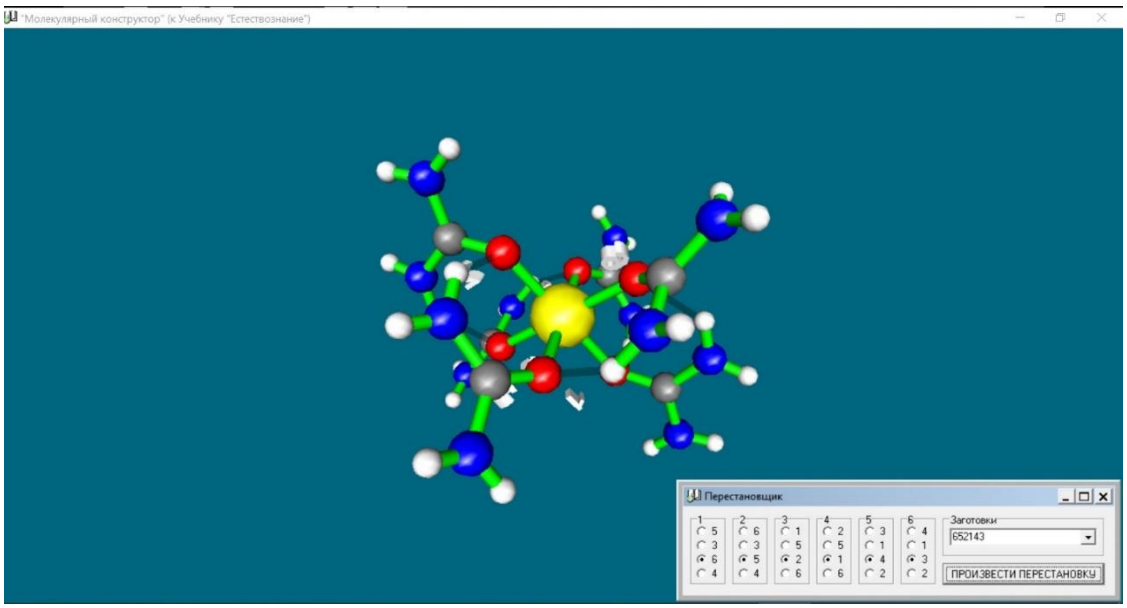


Рис. П.2.2. Процесс перестановки водородных связей

3. Также можно изменять размер сфер кнопками на клавиатуре (NumPad) «7» и «1» (рисунок П.2.3).

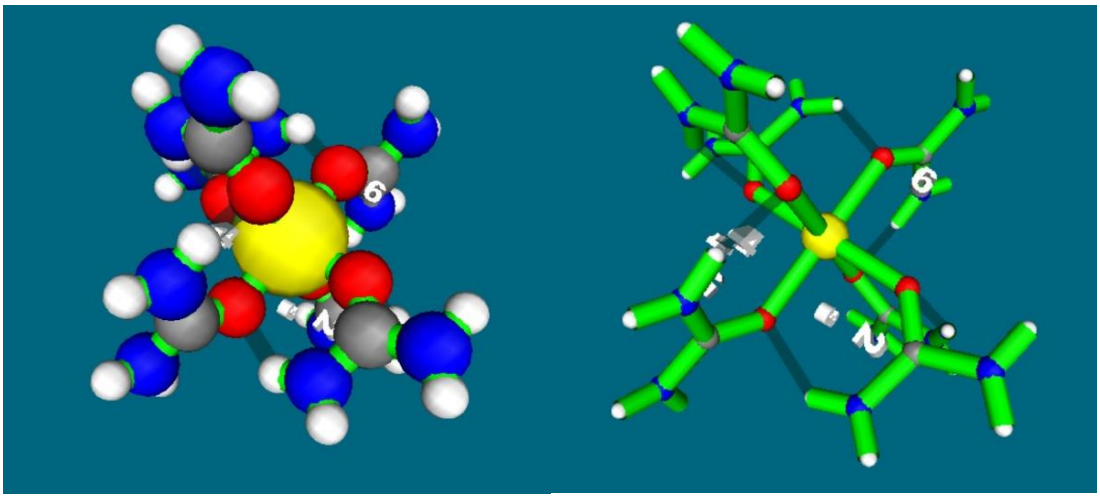


Рис. П.2.3. Изменение размера сфер

4. Визуально изменить толщину связей между атомами можно кнопками «9» и «3» (рисунок П.2.4).

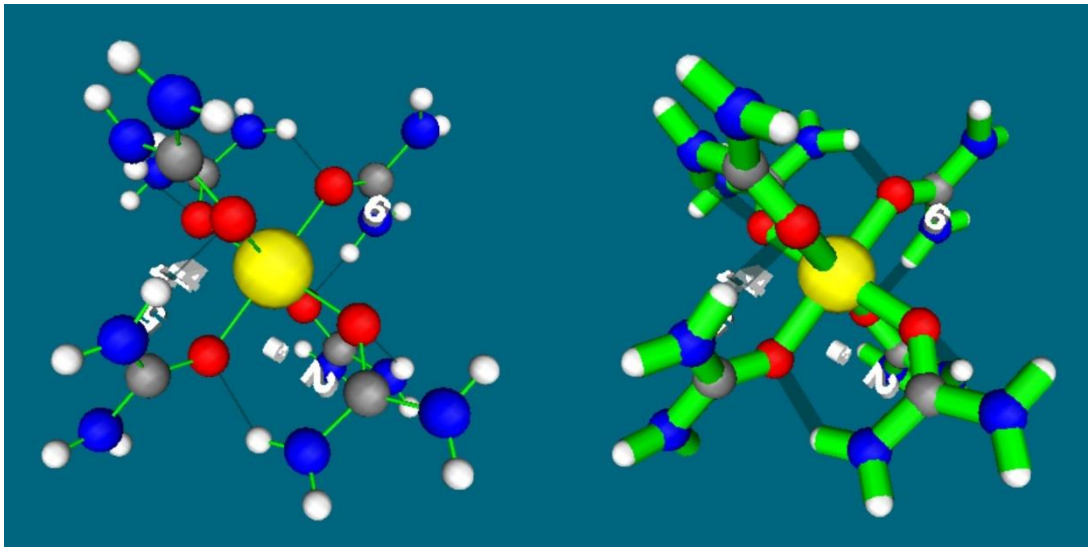


Рис. П.2.4. Визуальное расширение связей

6. Также возможно менять положение модели на поле программы кнопками «↑», «→», «↓», «←», отдалять и приближать модель кнопками «0» и «.». На «Space» осуществляется переход к линейной модели:

П.3. Программный комплекс Orgraph

Компьютерная программа Orgraph (компьютерный наноскоп) предназначена для визуализации построения послойно-секториального роста структуры любых кластеров [19], в том числе и молекулярных органических кластеров. Чтобы воспользоваться функционалом данной программы, нужно иметь файл определенного элемента, в котором должны быть прописаны необходимые структурные данные, взятые из хранилища WWW-MINKRIST. Программа работает на PC под управлением Windows XP и выше. Ниже будет описываться весь процесс обработки информации для итоговой визуализации кластера [14].

1. Для начала нужно перейти на интернет-страницу поискового интерфейса WWW-MINKRIST, там выбрать необходимый критерий поиска.

2. Далее необходимо выбрать первую букву названия минерала, или же набрать его вручную.

3. Следующим шагом является выбор конкретного минерала.

4. Выбираем вкладку «Информ. карта» и получаем информацию о структуре вещества (рисунок П.3.1). С помощью информации о координатах атомов в ячейке структуры переходим к анализу межатомных расстояний, определяем число «соседей» у каждого атома и данные заносим в самостоятельный файл структуры в программе Orgraph, то есть реализуем п. 5.

```
            Institute of Experimental Mineralogy
                Russian Academy of Sciences
     ----------------------------------------------
          142432, Chernogolovka, Moscow district
            A.V. Chichagov  +7(496)52-22320

                          ***

         ***      W W W - X R A Y P O L       ***
                 ************************
MAGNESIUM

1, t-magnesium, at 25'C

Mg

Hexagonal  P 6(3)/mmc  Z = 2

P6(3)/mmc

9 .7 .1992

Ref.Str.:

        A.V. Chichagov (1997)

        * IEM RAN

        L: Swanson and Tatge (1951)

        * JC Fel. Reports, NBS (PDF 4-0770)

        R: ATOMIC. N.A.D.

                  Initial data from BDM-file

   Lattice parameters (cub. angs.,degr.):

            a =   3.2095   alpha =   90.0
            b =   3.2095   beta  =   90.0
            c =   5.2104   gamma =  120.0

    Unit cell volume (cub. angs.) =    46.48

    Molar volume ( cub.cm/mol.) =    14.0

  Co-ordinates, thermal parameters, occupation for atomic positions:

NoP   x/a     y/b     z/c    B(j)   atom  / occupation

   1 0.3333  0.6667  0.25     0.0    Mg    = 1.00

  Co-ordinates for all atomic positions :

   No       NoP      x/a        y/b        z/c

   1         1      0.3333     0.6667     0.25
   2         1      0.6667     0.3333     0.75

X-ray density (g/cm cub.)   =      1.74
```

Рис. П.3.1. Информационная карта магния

5. Переносим выделенные данные в пустой файл .bat (рисунок П.3.2).

```
2  13   3.21  3.21  5.21 90.0 90.0 120.0
0.333 0.667 0.25      1
0.667 0.333 0.75      2
```

2 - Количество независимых выбранных точек в ячейке
13 - Количество связей между точками
3.21 - Размер ячейки кристалла (в Å) по оси "0x"
3.21 - Размер ячейки кристалла (в Å) по оси "0y"
5.21 - Размер ячейки кристалла (в Å) по оси "0z"

90.0 90.0 120.0 - углы связей между точками в ячейке

0.333 0.667 0.25 1
0.667 0.333 0.75 2

Координаты всех точек по x, y, z

```
1 1  1 0 0
1 1  0 1 0
1 1  -1 0 0
1 1  0 -1 0
1 1  1 1 0
1 1  -1 -1 0
1 2  0 0 0
1 2  0 1 0
2 1  1 0 0
2 1  0 -1 0
2 2  1 0 0
2 2  0 1 0
2 2  0 -1 0
```

1 2 0 1 0

Фиксация координационной связи между 1-й и 2-й точкой в ячейке, сдвинутой на целый период по оси "0y"

Рис. П.3.2. Отформатированные данные в текстовом файле .bat

6. Запускаем программу, нажав на файл Grow_graph_3d_GL.exe. Далее нажимаем на вкладку «Прочитать данные в файле», и выбираем нужный файл с интересующей нас структурой. Можно выбрать масштаб модели, отображение связей между сферами (рисунок П.3.3).

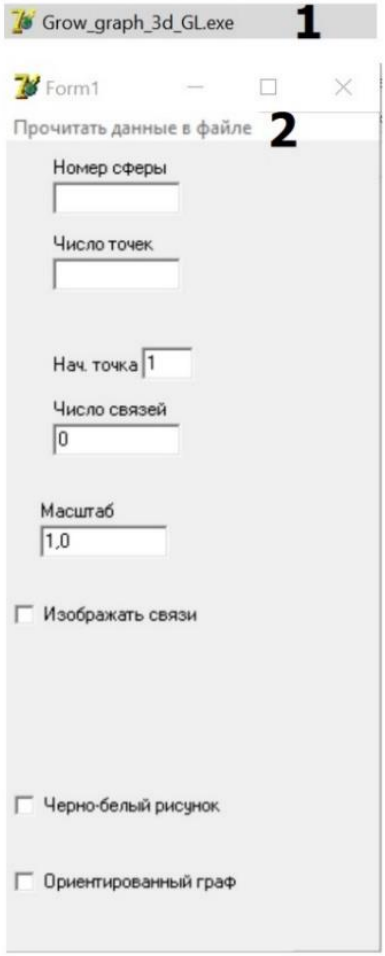


Рис. П.3.3. Окно записи условий просмотра структуры

7. Получаем модель нулевого окружения с отображенными внешними связями (рисунок П.3.4).

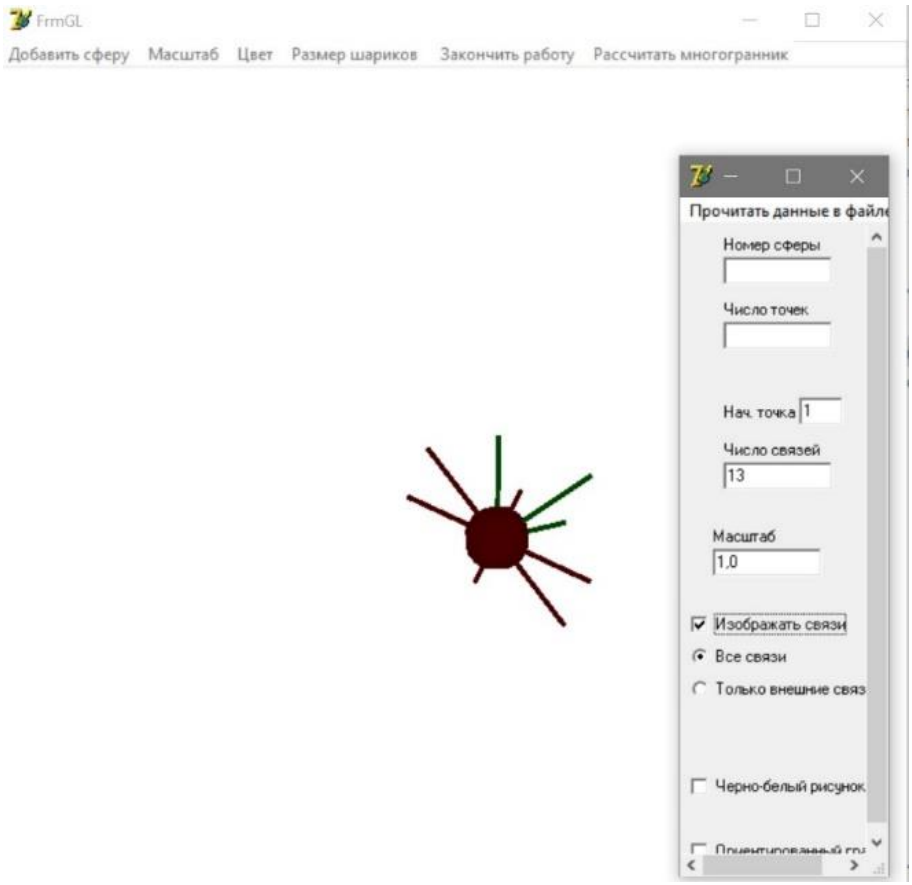


Рис. П.3.4. Окно отображения модели кластера

8. Увеличить степень окружения можно кнопкой на клавиатуре «Space». Масштаб регулируется кнопками «U» или «D». Размер атомных сфер меняется при нажатии кнопок «Z» или «X». Визуализируем структуру на экране и выбираем удобный вид проекции, меняя «стрелки поворотов» на клавиатуре.

П.4. Компьютерная программа расчета таблиц перестановок MATRIX

Данная программа имеет следующие функциональные возможности:

- перемножение двух подстановок[1];

[1] В программе производятся расчеты, связанные не только с преобразованиями симметрии, заданной «перестановками» элементов системы (чисел), но и симметрии, заданной «подстановками» чисел с повторениями, что создает эффект

- построение таблицы Кэли группы на основе подстановки;
- расширение таблицы Кэли добавлением новой подстановки;
- построение полной таблицы Кэли;
- построение разбиения на основе подстановки.

Программа работает на PC под управлением Windows XP и выше, не содержит персональных данных, она создана в среде программирования Delphi-7. Объем программы составляет 529 920 байт.

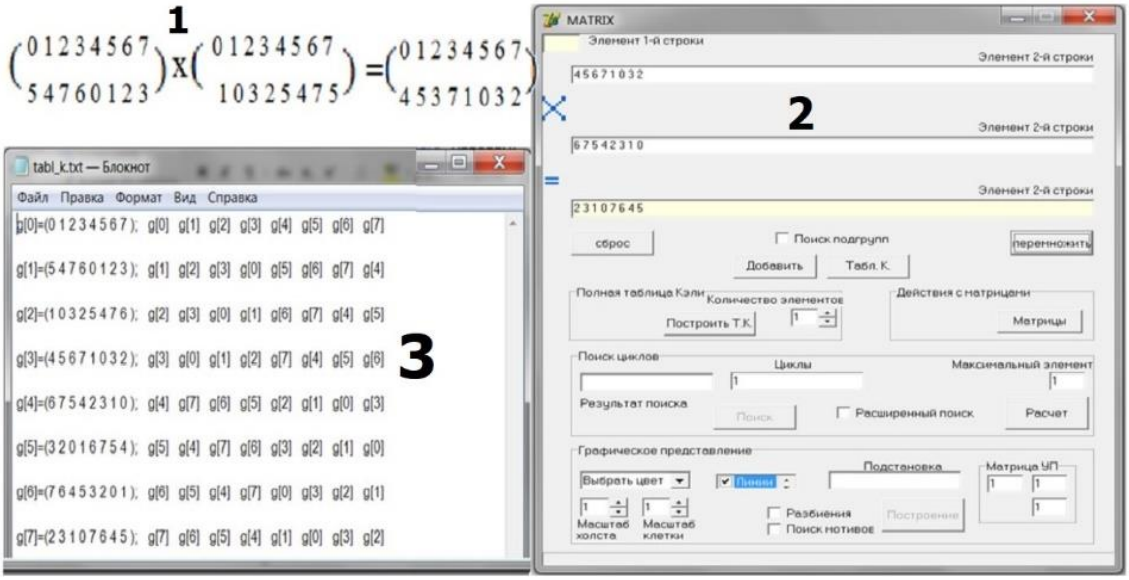


Рис. П.4.1. Результаты расчета групп с таблицей умножения (1) и Окно программы (2). Преобразования записываются и перемножаются в виде двухстрочных матриц Кэли (3)

В верхней части окна программы производится расчет группы преобразований. Реализация расчетных команд: «набрать в верхней строке», «набрать в следующей строке», «перемножить», «Таблица Кэли» (создать таблицу). В нижней части окна программы производится «визуализация». Реализация графических команд: «Ввести кодировку операции», «Выбрать вид разбиения», «Построить разбиение».

Вернемся к структурам комплексного катиона $Me^{3+}(urea)_6$ с центром симметрии $\bar{1}$ (по [8]) с двойной водородной (Ni – Oj) связью.

При описании структуры с нарушенной внутрикомплексными «двойными» водородными связями симметрией возникает необходимость нарушения в правилах «кодирования» матриц

«нарушенной симметрии». В этом заключается принципиальная новизна модели, позволяющей описание структур конечных множеств любого типа.

подстановок. В данном конкретном случае матрицу следует записать следующим образом: $\binom{012345}{223550}$, или «по нижней строке»: (2 2 3 5 5 0) в виде «неклассической» записи подстановки.

В ней представлены: запись элементов (операции), таблица умножения и запись элементов «в подциклах», что легко проверить непосредственно, перемножая матрицы g[1] циклически: g[1] = g[1], $(g[1])^2$ = g[2], $(g[1])^3$= g[3], а $(g[1])^4$ = (g[4]) [17].

Таблица П.4.1

Таблица умножения подстановок с нарушенной симметрией на множестве из 6 точек структуры

g[0]=(0 1 2 3 4 5);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	(0)(1)(2)(3)(4)(5)
g[1]=(2 2 3 5 5 0);	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[1]	(0 2 3 5)[1(2 3 5 0][4(5 0 2 3)]
g[2]=(3 3 5 0 0 2);	g[2]	g[3]	g[4]	g[1]	g[2]	(0 3) [1(3 0)] (2 5) [4 (0 3)]
g[3]=(5 5 0 2 2 3);	g[3]	g[4]	g[1]	g[2]	g[3]	(0 5 3 2)[1(5 3 2 0)][4(5 0 2 3)]
g[4]=(0 0 2 3 3 5);	g[4]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	(0)[1(0)](2)(3)[4 (3)](5)

Дальнейшее расширение таблицы произведем добавлением подстановок из операций подгруппы ненарушенной симметрии октаэдра, используя компьютерную программу. В этом случае подмножество операций будет иметь конечную подгруппу симметрии и конечную подгруппу (подмножество) нарушенной симметрии. Такое подмножество бинарных преобразований (см. таблицу П.4.2) будем называть смешанным конечным подмножеством бинарных преобразований.

Таблица П.4.2

Множество элементов конечной группы бинарных преобразований структуры комплексного катиона

g[0]=(0 1 2 3 4 5); g[1]=(1 2 3 4 5 0); g[2]=(2 3 4 5 0 1); g[3]=(3 4 5 0 1 2);
g[4]=(4 5 0 1 2 3); g[5]=(5 0 1 2 3 4);
……
g[6] = (2 2 3 5 5 0); g[7]=(2 3 5 5 0 2); g[8]=(3 5 5 0 2 2); g[9]=(5 5 0 2 2 3);
g[10]=(5 0 2 2 3 5); g[11]=(0 2 2 3 5 5); g[12]=(3 3 4 0 0 1);
……
g[13]=(3 4 0 0 1 3); g[14]=(4 0 0 1 3 3); g[15]=(0 0 1 3 3 4); g[16]=(0 1 3 3 4 0);
g[17]=(1 3 3 4 0 0); g[18]=(4 4 5 1 1 2); g[19]=(4 5 1 1 2 4);
…….
g[20]=(5 1 1 2 4 4); g[21]=(1 1 2 4 4 5); g[22]=(1 2 4 4 5 1); g[23]=(2 4 4 5 1 1);
g[24]=(3 3 5 0 0 2); g[25]=(3 5 0 0 2 3); g[26]=(5 0 0 2 3 3);
……
g[27]=(0 0 2 3 3 5); g[28]=(0 2 3 3 5 0); g[29]=(2 3 3 5 0 0); g[30]=(5 5 5 2 2 2);
g[31]=(5 5 2 2 2 5); g[32]=(5 2 2 2 5 5); g[33]=(2 2 2 5 5 5);
……
g[34]=(2 2 5 5 5 2); g[35]=(2 5 5 5 2 2); g[36]=(4 4 0 1 1 3); g[37]=(4 0 1 1 3 4);
g[38]=(0 1 1 3 4 4); g[39]=(1 1 3 4 4 0); g[40]=(1 3 4 4 0 1);
……..
g[41]=(3 4 4 0 1 1); g[42]=(0 0 0 3 3 3); g[43]=(0 0 3 3 3 0);
…….

В последнем примере, выбранном для демонстрации существования конечных множеств со смешанной группой преобразований, общее количество элементов оказалось равным 60 (см. таблицу П.4.2). Соответствующая таблица произведений для 60 × 60 = 3600 строк, взятых из таблицы П.4.2, слишком громоздкая и в работе полностью не приводится. Более того, множество элементов в смешанной подгруппе можно еще увеличить, так как в таблице П.4.2 учтены не все преобразования симметрии октаэдра и не все бинарные операции с нарушенной симметрией. Компьютерный эксперимент, в данном случае, призван заменить доказательство теоремы (I) о существовании смешанного подмножества преобразований конкретным примером.

Рассмотрим межгрупповые отношения в произвольных групповых (кластерных) системах. Визуализацию этапов преобразований в кластерной структуре приведем, используя возможности компьютерной программы MATRIX, разработанной для понимания возможностей модели описания нарушенной симметрии в различных процессах, в частности при взаимодействии между группами с различными типами подчинения (связи) в системе. Ниже приведено несколько вариантов в общей модели из двух групп.

Вариант 1. Две группы (из 26 элементов кластера (точек)) без локального центра связи между ними.

Таблица П.4.3

Группа преобразований с нарушенной симметрией из 26 точек

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25);	g[0] g[1] g[2] g[3]
g[1]=(0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 15 15 15 16 17 16 17 21 21 20 20);	g[1] g[2] g[3] g[3]
g[2]=(0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 2 2 2 2 15 15 15 15 15 15 15 17 17 16 16);	g[2] g[3] g[3] g[3]
g[3]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15);	g[3] g[3] g[3] g[3]

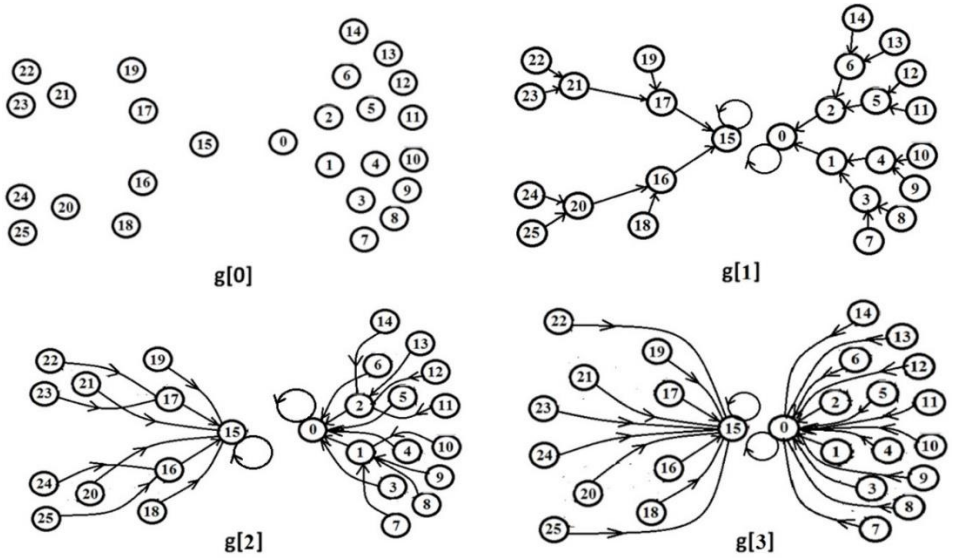


Рис. П.4.2. Визуализация «отношений» в группах преобразований из 26 элементов

Вариант 2. ГНС (2 группы из 26 элементов (точек)) с локальным центром связи между ними. На основе расчета можно выделить 4 этапа развития отношений между 2 группами. На рисунке П.4.3 эти этапы «визуализированы» [21].

Таблица П.4.4

Группа преобразований с нарушенной симметрией из 26 точек с локальным центром связи

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]
g[1]=(15 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 0 15 15 16 17 16 17 21 21 20 20);	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[3]
g[2]=(0 15 15 0 0 0 0 1 1 1 1 2 2 2 2 15 0 0 15 15 15 15 17 17 16 16);	g[2]	g[3]	g[4]	g[3]	g[4]
g[3]=(15 0 0 15 15 15 15 0 0 0 0 0 0 0 0 0 15 15 0 0 0 0 15 15 15 15);	g[3]	g[4]	g[3]	g[4]	g[3]
g[4]=(0 15 15 0 0 0 0 15 15 15 15 15 15 15 15 15 0 0 15 15 15 15 0 0 0 0);	g[4]	g[3]	g[4]	g[3]	g[4]

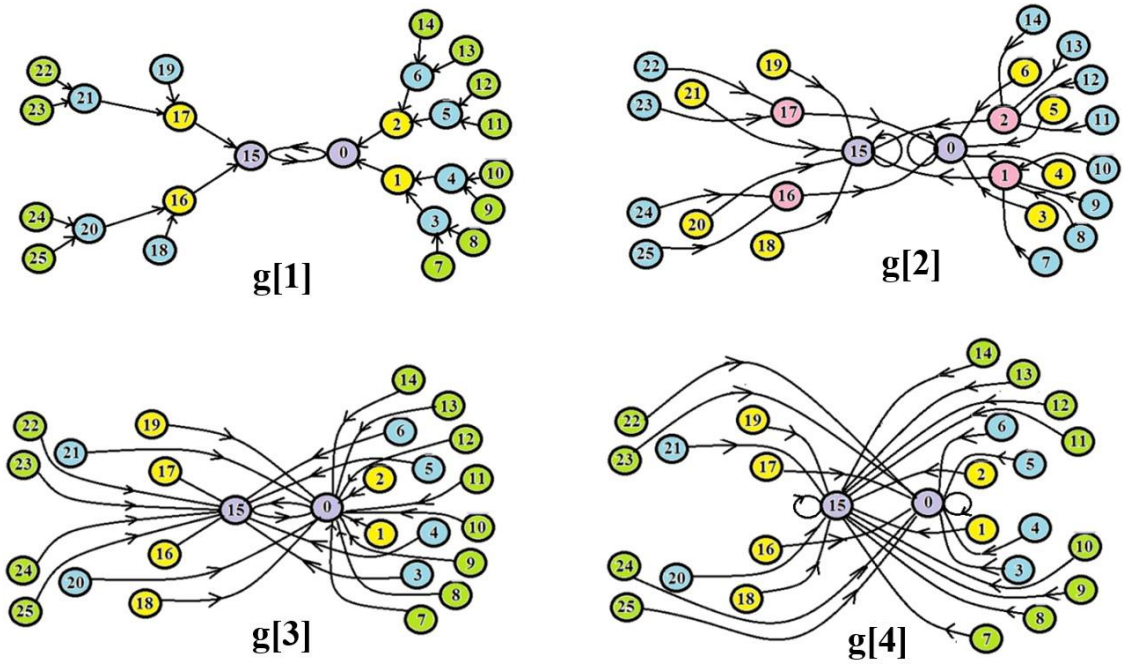


Рис. П.4.3. Четыре этапа развития межгрупповой системы

Вариант 3. Есть направленная связь (будет встречаться при анализе кластера комплексного соединения). Связь направлена от элемента 15 к элементу с индексом 0.

Таблица П.4.5

Группа преобразований с нарушенной симметрией из 26 точек с схождением в элементе R = 0

g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25);	g[0]	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]
g[1]=(0 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 0 15 15 16 17 16 17 21 21 20 20);	g[1]	g[2]	g[3]	g[4]	g[4]
g[2]=(0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 2 2 2 2 0 0 0 15 15 15 15 17 17 16 16);	g[2]	g[3]	g[4]	g[4]	g[4]
g[3]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 15 15 15 15);	g[3]	g[4]	g[4]	g[4]	g[4]
g[4]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0);	g[4]	g[4]	g[4]	g[4]	g[4]

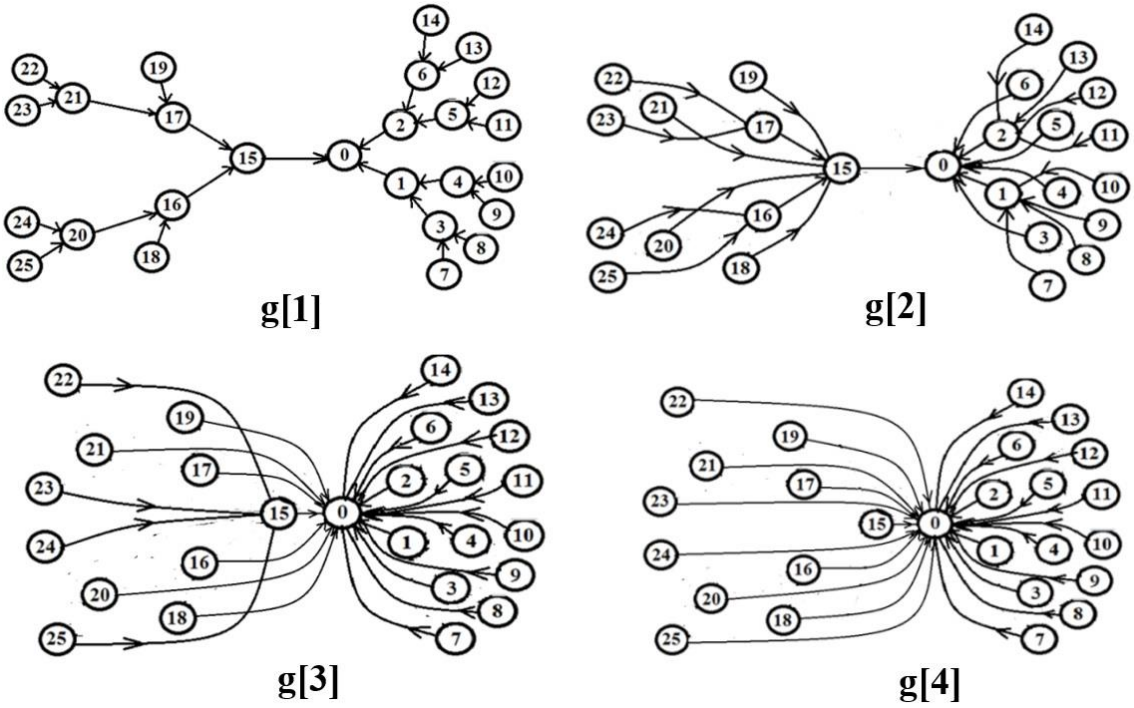


Рис. П.4.4. Пример модельного описания процессов развития в произвольном кластере из двух групп элементов

Ранее в этой работе были рассмотрены органические молекулярные кластеры, а именно ДНК. Создается пространство «кодировки» или информационное пространство, в виде молекулярного нанокластера. Таким образом, расчет группы нарушенной симметрии для кластера структуры ДНК должен на первом этапе содержать 10 точек – по количеству 10 пар нуклеотидов, укладывающихся в полный период из 10 шагов структуры ДНК, общим размером 34 нм [22].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акаев А. А. Современный финансово-экономический кризис в свете теории кондратьевских циклов [Электронный ресурс]. URL: http://cliodynamics.ru.
2. Андреева А. В. Оптимальное управление клиентской базой кампании на основе показателя долгосрочной стоимости клиента // Бизнес-информатика. – 2012. – № 4(22). – С. 61-68.
3. Антипов А. А., Аракелян С. М., Кутровская С. В., Кучерик А. О., Рау В. Г., Зимин С. П. Формирование квантовых точек PbTe при лазерном воздействии на полупроводниковый кристалл, помещенный в жидкость // Перспективные материалы. – 2013. – № 14. – С. 304-309.
4. Аракелян С. М., Кучерик А. О., Прокошев В. Г., Рау В. Г., Сергеев А. Г. Введение в фемтонанофотонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов. – М. : Логос, 2015. – 744 с.
5. Бадрызлов В. А., Сидельцев В. В. Оценка эффективности распространения информации в социальных сетях с использованием имитационного моделирования // Креативная экономика. – 2018. – № 9. – Т. 12. – С. 1359-1372.
6. Белоцерковская М. Г. Кластеризация клиентской базы участников программы лояльности // Московский экономический журнал. – 2017. – № 2. – С. 112-119.
7. Бернар И., Колли Ж.-К. Толковый экономический и финансовый словарь: В 2 т. / пер. с фр. – М. : Междунар. отношения, 1994.
8. Блауг М. Закон рынков Сэя / Экономическая мысль в ретроспективе = Economic Theory in Retrospect. – М. : Дело, 1994. – С. 136-150. – XVII, 627 с. – ISBN 5-86461-151-4.
9. Бокарев Ю. П. Виртуально-пространственный подход в экономической компаративистике / История мировой экономики. Вып. 1. Компаративные исследования экономической истории: сборник статей. – М. : Институт экономики РАН, 2012. – С. 109-160.
10. Галямова А. Ф., Тархов С. В. Управление взаимодействием с клиентами коммерческой организации на основе методов сегментации и кластеризации клиентской базы // Вестник УГАТУ. – 2014. – Т. 18. – № 4 (65). – С. 149-156.
11. Готт В. С. Удивительный неисчерпаемый познаваемый мир. – М. : Знание, 1974. – 224 с.

12. Грибанова Е. Б., Каштанова О. В., Мицель А. А. Система имитационного моделирования торгов, проходящих в форме аукциона // Доклады ТУСУРа. – 2007. – № 1(15). – С. 63-70.
13. Громыко Г. Л. Теория статистики: практикум. – 4-е изд., доп. и перераб. – М. : ИНФРА-М, 2009.
14. Журавлев В. Г. Самоподобный рост периодических разбиений и графов // Алгебра и анализ. – 2001. – № 13. – С. 69-92.
15. Зайцев А. А. Предпосылки государственного регулирования устойчивости аграрных отношений на динамической рентной основе: монография [Электронный ресурс]. URL: https://books.google.ru/books?id=pEA4DwAAQBAJ&lpg=PA1&hl=ru&pg=PA1#v=onepage&q&f=false.
16. Захаров А. В., Харламов А. В. К вопросу о применении имитационного моделирования методом Монте-Карло в задачах оценки фундаментальной стоимости объекта оценки // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2010. – № 5. – С. 28-45.
17. Зорина А. А. Формирование флуктуирующей асимметрии в процессе индивидуального развития Betula pendula // Принципы экологии. – 2014. – № 4. – С. 31-52.
18. Кирдина С. Г. Институциональные матрицы и развитие России. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск : ИЭиОПП СО РАН, 2001.
19. Кисляков А. Н. Влияние фильтрации Фурье на точность прогноза социально-экономических показателей // Ученые записки. – 2017. – № 2 (22). – С. 78-82.
20. Кисляков А. Н. Интеллектуальный анализ потребительского спроса в условиях информационной асимметрии //Современная экономика проблемы и решения. – 2019. – № 10. – С. 8-17.
21. Кисляков А. Н. Использование фрактальной размерности в техническом анализе рынка крипотовалют // Ученые записки. – 2018. – № 1 (25). – С. 101-105.
22. Кисляков А. Н. Метод виртуального увеличения выборки при прогнозировании редких продаж в условиях рыночной асимметрии // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2019. – № 1. – Т. 2. – С. 47-54.
23. Кисляков А. Н. Методы и инструменты анализа данных в экономике и управлении: учебно-методическое пособие. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2019. – 161 с.

24. Кисляков А. Н. Методы оптимизации в экономике и управлении: учебно-методическое пособие. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2018. – 161 с.
25. Кисляков А. Н. Модель поведения участников розничного рынка топлива в условиях информационной асимметрии // Экономические отношения. – 2019. – Т. 9. – № 1. – С. 219-234.
26. Кисляков А. Н. Фрактальный анализ в задачах прогнозирования социально-экономических процессов // Новая экономика и региональная наука. – 2018. – № 1 (10). – С. 36-39.
27. Кисляков А. Н. Показатели асимметрии в задачах изучения поведенческой активности пользователей продукта // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2020. – № 3 (123). – С. 110-116.
28. Кисляков А. Н., Савельев И. И. Исследование математических методов анализа и оценки качества государственных и муниципальных услуг, предоставляемых в электронном виде // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2018. – Т. 3. – № 10. – С. 48-52.
29. Куркутова Е. Н., Рау Т. Ф. Кристаллическая структура $Co(NO_3)_2 \cdot 10CO(NH_2)_2$ // Доклады АН СССР. – 1972. – Т. 204. – С. 342-345.
30. Мамий Е. А., Яхимович Е. С. Современные подходы к оценке рисков инвестиционных проектов // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2018. – № 5. – Т. 1. – С. 155-160.
31. Наливкин Д. В. Использование последовательных методов Монте-Карло для оценивания рисков на финансовых рынках // Управление большими системами. – 2008. – № 21. – С. 71-83.
32. Никитин О. Р., Рау В. Г., Скворцов К. В., Ломтев Л. А. Органические полупроводники. Антрацен в компьютерном наноскопе // Известия Института инженерной физики. – 2009. – № 4. – С. 15-20.
33. Никитин О. Р., Руфицкий М. В., Скворцов К. В, Рау Т. Ф., Осин А. В., Рау В. Г. Мониторинг и моделирование поверхности материалов, используемых в технологии «ALOX». – Серпухов : Известия института инженерной физики, 2013.
34. Овчинников Н. Ф. Философские проблемы классической и неклассической физики. Современная интерпретация. – М. : ИФРАН, 1998.
35. ООО «РУСАЛОКС» [Электронный ресурс]. URL: http://rusalox.ru/technology-uniqueness.html (дата обращения: 04.06.2019).

36. Поляков И. В., Уваров С. А., Водяненко И. М., Ланкин К. А. Маркетинг медицинских услуг в условиях медицинского страхования. Методическое пособие. – Саратов : Слово, 1996. – 92 с.
37. Поляков С. В., Кисляков А. Н. Основы математического моделирования социально-экономических процессов: учебно-методическое пособие. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС. 2017. – 269 с.
38. Попукайло В. С. Исследование линейной корреляционной связи в многомерном методе точных распределений // Информационно-управляющие системы. – 2016. – № 6 (85). – С. 96-98.
39. Попукайло В. С. Исследование линейной корреляционной связи в парных выборках малого объема // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2016. – № 1. – С. 27-32.
40. Прангишвили И. В., Иванус А. И. Системная закономерность «золотого сечения», системная устойчивость и гармония // Проблемы управления. – 2004. – № 2. – С. 2-8.
41. Предмет и структура естествознания [Электронный ресурс]. URL: https://helpiks.org/7-70772.html.
42. Радченко Я. В. Знание законов социальной организации - условие результативности политики и управления. / Актуальные проблемы естественных и гуманитарных наук: тезисы докл. юбил. конф. Яросл. гос. ун-та. Общественные науки. – Ярославль, 1995.
43. Рау В. Г. Основы математики и прикладная статистика в экономике и управлении: учебно-методическое пособие. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2016. – 146 с. – ISBN 978-5-906773-20-3.
44. Рау В. Г., Бондарь В. И., Рау Т. Ф., Степанов С. В. Проблемы кристаллохимии. – М. : Наука, 1990.
45. Рау В. Г., Журавлев В. Г., Рау Т. Ф., Малеев А. В. Морфогенез кристаллических структур в методе дискретного моделирования упаковок // Кристаллография. – 2002. – Т. 47. – № 5. – С. 793-796.
46. Рау В. Г., Кисляков А. Н., Рау Т. Ф., Герасимов К. А. Математическая модель сборки дендримеров для нанофармакологии / Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии: труды XIII Международной научной конференции с научной молодежной школой имени И. Н. Спиридонова. В 2 книгах. – М. : ООО «Графика», 2018. – С. 247-250.
47. Рау В. Г., Кисляков А. Н., Тихонюк Н. Е., Рау Т. Ф. Принцип нарушения асимметрии в моделях развития экономических систем опыт и проблемы / Региональная экономика: опыт и проблемы.

Материалы XI международной научно-практической конференции (Гутманские чтения) 15 мая 2018 года / под общ. ред. А. И. Новикова и А. Е. Илларионова. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2018. – 281 с. – С. 201-211.
48. Рау В. Г., Ломтев Л. А., Рау Т. Ф., Герасимов К. А. Программа расчета групп симметрии и нарушенной симметрии MATRIX. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2018664999. – М., 2018.
49. Рау В. Г., Ломтев Л. А., Рау Т. Ф., Горшков К. А., Никитин О. Р. Компьютерные эксперименты в группах подстановок с нарушенной симметрией // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 3. – С. 43-49. – DOI: 10/17513/snt.36614.
50. Рау В. Г., Пархомов Л. Г., Илюхин В. В., Белов Н. В. К расчету патерсоновских циклотомических наборов // Доклады АН СССР. – 1980. – Т. 255. – № 4. – С. 1110-1113.
51. Рау В. Г., Пугаев А. А., Рау Т. Ф., Малеев А. В. Модели сборки наноразмерных зародышей роста кристаллических структур // Структурная химия. – 2009. – Т. 50. – С. 12-17.
52. Рау В. Г., Рау Т. Ф., Лебедев Г. О., Куркутова Е. Н. // Кристаллография. – 2000. – Т. 45. – С. 653-657.
53. Рау В. Г., Рау Т. Ф., Ломтев Л. А., Никитин О. Р. Группа нарушенной симметрии в октаэдрическом катионе $[Me(urea)_6]^{2+,3+}$ с внутрикомплексными водородными связями // Структурная химия. – 2018. – Т. 59. – С. 117-123.
54. Рау В. Г., Рау Т. Ф., Малеев А. В. Статистические модели в квантовой физике, экологии и экономике. – М. : Издательский дом Академии естествознания, 2015. – 144 с.
55. Рау В. Г., Скворцов К. В., Потехин К. А., Малеев А. В. Геометрический анализ моделей молекулярных нанокластеров серы $(S_8)x$ в компьютерном эксперименте // Структурная химия. – 2011. – Т. 52. – № 4. – С. 781-786.
56. Региональная экономика: учебник / под ред. В. И. Видянина, М. В. Степанова. – М. : ИНФРА-М, 2005.
57. Русанов А. И. М. М. Шульц и химическая термодинамика // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4 «Физика. Химия». – 2010. – № 4. – С. 60-65.
58. Савельева И. П., Никулин Д. Н. Оценка эффективности интернет-рекламы с помощью систем веб-аналитики // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2014. – № 3. – Т. 8. – С. 99-105.

59. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619399: программный комплекс для исследования координационных окружений в модели послойного роста графов связности / А. В. Малеев, В. Г. Журавлев, А. В. Шутов, В. Г. Рау; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых (RU). – № 2013617161; заявл. 16.08.2013. Дата государственной регистрации: 03.10.2013.
60. Солодовников С. Ф. Основные термины и понятия структурной кристаллографии и кристаллохимии (словарь-пособие). – Новосибирск : ИНХ СО РАН, 2005. – 113 с.
61. Суслов И. В. Мировой финансовый кризис: циклы Кондратьева (К-циклы) [Электронный ресурс]. URL: http://igorsychov.blogspot.com/2008/12/blog-post_12.html.
62. Тихонюк Н. Е Платформы в цифровой экономике: основные принципы формирования / Региональная экономика: опыт и проблемы: материалы XII Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. И. Новикова и А. Е. Илларионова. – Владимир, 2019. – С. 120-125.
63. Тихонюк Н. Е. Использование теории конвергенции как направления развития экономического потенциала в условиях глобализации экономики / Управление инновационным развитием региона: материалы конференции. – Владимир : ВлГУ, 2012.
64. Тихонюк Н. Е., Кисляков А. Н. Модель ценообразования однородного рынка с учетом асимметричности информации // Инновационное развитие экономики. – 2019. – № 1. – С. 93-100.
65. Тихонюк Н. Е., Кисляков А. Н. Экономические модели работы с асимметрией информации: эволюция подходов / Региональная экономика: опыт и проблемы. Материалы XI международной научно-практической конференции (Гутманские чтения) 15 мая 2018 года / под общ. ред. А. И. Новикова и А. Е. Илларионова. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2018. – 281 с. – С. 236-244.
66. Тогунов И. А. Государство как системный объект управления: опыт структурно-функционального моделирования / Государственное управление в XXI веке: традиции и инновации: материалы 6-й международной конференции факультета государственного управления МГУ им. М. В. Ломоносова (29 - 31 мая 2008 г.). – М., 2008.

67. Тогунов И. А. Жизненный цикл организации в свете структурной симметрии и киральности // Эксклюзивный маркетинг. – 2008. – № 1 (64). – С. 34-41.
68. Тогунов И. А. Закон универсальности социальных организаций // Эксклюзивный маркетинг. – 2007. – № 2 (59). – С. 3-20 (приложение к журналу «Практический маркетинг»).
69. Тогунов И. А. Научное обоснование эволюции взаимоотношений врача и пациента в условиях перехода к рынку медицинских услуг: дис. ... д-ра мед. наук. – М., 2001.
70. Тогунов И. А. Научно-методологические и организационные аспекты интеграции городской поликлиники и формирующейся системы обязательного медицинского страхования: дис. … канд. мед. наук. – М., 1997.
71. Тогунов И. А. Новое в теории организации: фрактально-фасеточные модели: монография. – Владимир : Собор, 2009. – 136 с.
72. Тогунов И. А. Симметрия в маркетинговых системах // Ученые записки. – 2018. – № 1 (25). – С. 82-91.
73. Тогунов И. А. Системная маркетинговая модель государства // Социум и власть. – 2008. – № 1 (17). – С. 96-104.
74. Тогунов И. А. Структурно-функциональные модели социальных систем: монография. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2016. – 159 с.
75. Тогунов И. А., Филиппов Р. В., Поляков С. В., Рау В. Г. Прогностическое моделирование эволюционных процессов в вирусной микробиологии / Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии: труды XIII Международной научно-технической конференции, Владимир – Суздаль, 2018 г. В 2 т. – М. : ООО «Графика», 2018. – Т. 1. – С. 201-204.
76. Форман Д. Много цифр: Анализ больших данных при помощи Excel. – М. : Альпина Паблишер, 2016. – 464 с.
77. Циклы Кондратьева [Электронный ресурс]. URL: http://cliodynamics.ru.
78. Цой М. Е., Залешин П. А. Сегментация потребителей на основе изучения стилей покупательского поведения // Российское предпринимательство. – 2017. – Т. 18. – № 21. – С. 3313-3326.
79. Цой М. Е., Щеколдин В. Ю., Лежнина М. Н. Построение сегментации на основе модифицированного RFM-анализа для повышения лояльности потребителей // Российское предпринимательство. – 2017. – Т. 18. – № 21. – С. 3113-3134.

80. Шубников А. В., Копцик В. А. Симметрия в науке и искусстве. – М. – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2004. – 560 с.
81. Шубников А. В., Копцик В. А. Симметрия в науке и искусстве. – М. : Наука, 1972. – 339 с.
82. Amol B. Rahane, Mrinalini D. Deshpande, Vijay Kumar. Structural and Electronic Properties of $(Al_2O_3)_n$ Clusters with n = 1 - 10 from First Principles Calculations // American Chemical Society. – 2011. – September 1. – doi.org/10.1021/jp2050614.
83. Anderson Carl. Creating a Data-Driven Organization: Practical Advice from the Trenches. – O'Reilly Media, 2015. – 302 p.
84. Booth Kellogg S., Lueker George S. Testing for the consecutive ones property // Journal of Computer and System Sciences. – 1976. – Vol. 13. – Iss. 3. – P. 335-379.
85. Cambridge Structural Database System [Электронный ресурс]. URL: https://www.ccdc.cam.ac.uk/ (дата обращения: 06.06.2019).
86. Hughes A. M. The Customer Loyalty Solution. – McGraw-Hill Professional, 2008. – 384 p.
87. Kiminori Matsuyama Symmetry-Breaking [Электронный ресурс]. URL: http://faculty.wcas.northwestern.edu/~kmatsu/Symmetry-Breaking.pdf.
88. Koonin E. V. The Logic of Chance. The Nature and Origin of Biological Evolution. – Pearson Education, Inc., 2011. – 516 pp.
89. Lévi-Strauss C. Anthropologie structurale. – P., 1958.
90. Malinowski B. A scientific theory of culture. – N. Y., 1960.
91. Polanyi K. The Great Transformation. – N. Y. : Farrar & Rinehart, Inc., 1944.
92. Rau V. G., Lomtev L. A., Rau T. F. Non-Crystallographic Symmetry in Packing Spaces // Symmetry (USA). – 2013. – Vol. 5. – P. 54-80.
93. Rau V. G., Pugaev A. A., Rau T. F., Maleev A. V. Geometrical Aspect of Solving the Problem of Real Structure Growth on the Model of Alkali Metal Halides of the NaCl // Crystallography Reports. – 2009. – Vol. 54. – No. 7. – P. 28-34.
94. Rau V. G., Togunov I. A., Rau T. F., Polyakov S. V. Structure Transformations in Broken Symmetry Groups // Abstraction and Visualization. Symmetry. – 2018. – Vol. 10 (10). – doi:10.3390/sym10100440.
95. Rau Valery G., Lomtev Leonty A. and Rau Tamara F. Non-Crystallographic Symmetry in Packing Spaces // Symmetry (USA). – 2013. – № 5. – P. 54-80. – doi:10.3390/sym5010054.

96. Winston W. Microsoft Excel 2016 Data Analysis and Business Modeling. – Microsoft Press, A Division of Microsoft Corporation, 2016.
97. WWW-MINKRIST [Электронный ресурс]. URL: http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus/search.php?select=Name (дата обращения: 06.06.2019).
98. Zhong Lin Wang. Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2004. – Vol. 16. – No. 25. – P. 829-858.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРИИ ГРУПП НАРУШЕННОЙ СИММЕТРИИ В ПРИРОДНЫХ, БИОЛОГИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Коллективная монография

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-07-00170

Авторы
Рау Валерий Георгиевич
Горшков Кирилл Андреевич
Поляков Сергей Владимирович
Рау Тамара Федоровна
Кисляков Алексей Николаевич
Тогунов Игорь Алексеевич
Тихонюк Наталья Евгеньевна

Редактор: А. М. Перегудова
Корректор: Н. М. Орлова
Дизайн: А. Е. Дмитриев

Сдано в набор 06.03.2020.
Подписано в печать 29.05.2020.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 15,5. Авт. л. 14,8.
Тираж 500 экз. Заказ № 533/20.

Отпечатано во Владимирском филиале федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации»

Россия, г. Владимир, ул. Горького, 59а,
контактный телефон (4922) 52-27-89