

# СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОЗДАНИЮ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ УСТОЙЧИВЫХ СГУСТКОВ ПЛАЗМЫ С МАСШТАБНОИНВАРИАНТНОЙ КЛАСТЕРНОЙ СТРУКТУРОЙ

Волгоград 1987

---

В настоящее время накоплено большое количество экспериментальных сведений о наличии в шлифматериале, карбиде кремния черном, преимущественных размеров. Зерна с этими размерами имеют повышенную динамическую и статическую прочность, большую изометричность.

Однако исследование этого явления ограничивается: пока рамками технологических возможностей дробления куска SiC.

Настоящая работа направлена на получение устойчивых сгустков плазмы с масштабнoинвариантной кластерной структурой, с помощью которых в дальнейшем предполагается осуществить синтез частиц SiC с аналогичной структурой и преимущественными размерами.

## I. Анализ состояния вопроса

Кластерные структуры интенсивно изучаются относительно недавно [1]. Выяснилось, например, что при осаждении из паровой фазы атомы металлов не образуют сплошную пленку, а соединяются в отдельные островки примерно одинаковых размеров. Аналогично, в среде инертных газов атомы металлов образуют группировки с центральной симметрией и запрещенными в кристаллографии осями 5, 7 и т.д. порядков. В настоящее время любая теория плавления, основанная на модели идеальной решетки, не выдерживает критики, в то время, как качественная теория, опирающаяся на кластерную модель, позволяет наиболее полно объяснять известные факты [1]. Мало того, установлено, что даже при самых низких температурах в идеальном массивном монокристалле могут возникать и некоторое время существовать кластеры, обладающие иной симметрией решетки.

Исследования закономерностей кластерообразования показали, что существует два основных типа кластеров:

1 тип — с позиционной симметрией элементов, число которых  $N=3-100$ , свойственен хрупким телам [2, 3] (минералам);

2 тип — со статистической симметрией элементов (внутренняя энергия равна энергии поверхностной),  $N=300-1000$ , свойственен пластическим телам (металлам) [1, 4].

Для первого типа кластеров характерны упаковки с симметрией в основном правильных платоновских тел (тетраэдр, додекаэдр...). Среднее отношение размера кластера, к его элементу  $L_{k+1}/L_k=3-3,5$  [2].

Для второго типа характерны более крупные упаковки с более сложной симметрией [1]. Среднее отношение размеров  $L_{k+1}/L_k=9-11$  [4].

Как правило, явление кластерообразования (кластерных сверток) рассматривается до 2–3 шага от атомного уровня: атомы — кластеры — метакластеры — малые частицы [1], до размеров не более  $1000 \text{ \AA}$ . Однако тщательный анализ причин кластерообразования [2, 3] позволяет автору считать этот процесс масштабноинвариантным вплоть до размеров космических тел (до  $10^{10} \text{ см}$ ). Независимо к аналогичному заключению пришли болгарские геофизики Э. Христосков и Е. Леви (рукопись готовится в печать в специальный сборник Изв. АН СССР, представлена М.А. Садовским). В самых общих чертах процесс кластерообразования 1-го типа представлен на схеме (рис. 1).

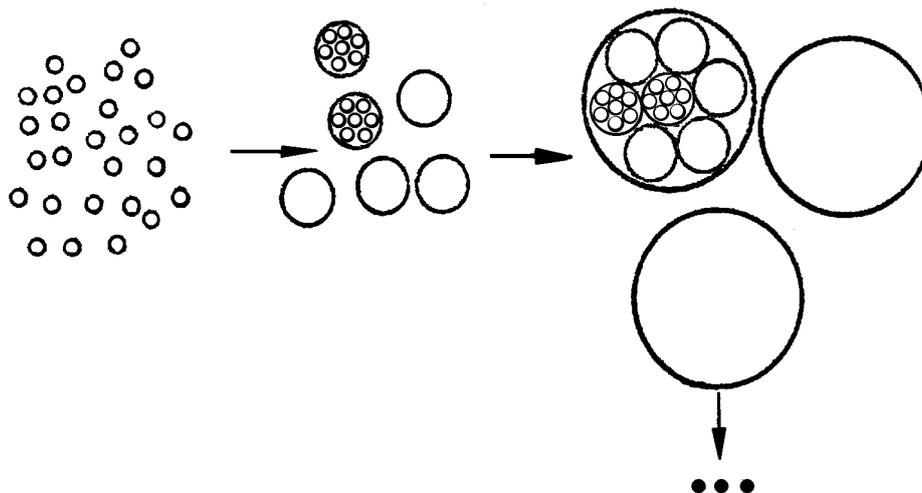


Рис. 1.

Схема процесса масштабноинвариантного кластерообразования

Структуры, подобные изображенным на рис. 1 в работах [2, 3], называются масштабноинвариантными кластерными структурами (МК-структурами), однако к ним вполне применима и терминология фракталов [5].

В настоящее время, пожалуй, лишь МК-подход позволяет количественно моделировать [2] открытое советскими геофизиками под руководством академика М.Л. Садовского явление «преимущественных» размеров в структуре литосферы. Выделенные размеры, характерные для кристаллических тел любой природы [6, 7], объясняются в МК-модели наличием центросимметричных упаковок на **всех** структурных уровнях вещества, а диапазон отношений этих размеров  $L_{k+1}/L_k \approx 2-5$  совпадает с диапазоном отношений наиболее распространенных симметричных упаковок  $L_{k+1}/L_k \approx 1,8-5,5$  [2, 3].

Итак, явление фрактальности свойственно как кристаллическим, так и металлическим телам. Наиболее ярко оно проявляется при повышенной внутренней энергии тел (внешняя нагрузка, температура). Кластерность на атомном уровне сопровождается изменением ( $\sim$  в 1,1 раза) расстояний между атомами, специфичностью распределения заряда по поверхности кластеров, образованием электронных «микропленок», особенностями энергетического спектра электронов, их поведения и др. [1]. В макрообъеме фрактальность приводит к блочности структур земной коры, пород, кристаллов, наличию выделенных размеров, к масштабному эффекту прочности тел, к пороговым эффектам разрушения тел и т.п.

Кроме того, фрактальность отражается не только на статических свойствах тел, таких как структура, но и их динамических, энергетических характеристиках. Все это должно учитываться при выборе параметров моделирования фрактальных процессов в лабораторных условиях.

Дополнительно следует отметить, что дискретно-топологические основания МК-модели [8] позволяют делать чисто системотехнические выводы о типах кластерных структур в различных фазовых состояниях вещества, в том числе и плазменном.

## **2. Особенности получения устойчивых сгустков плазмы (УСПов) с фрактальной структурой**

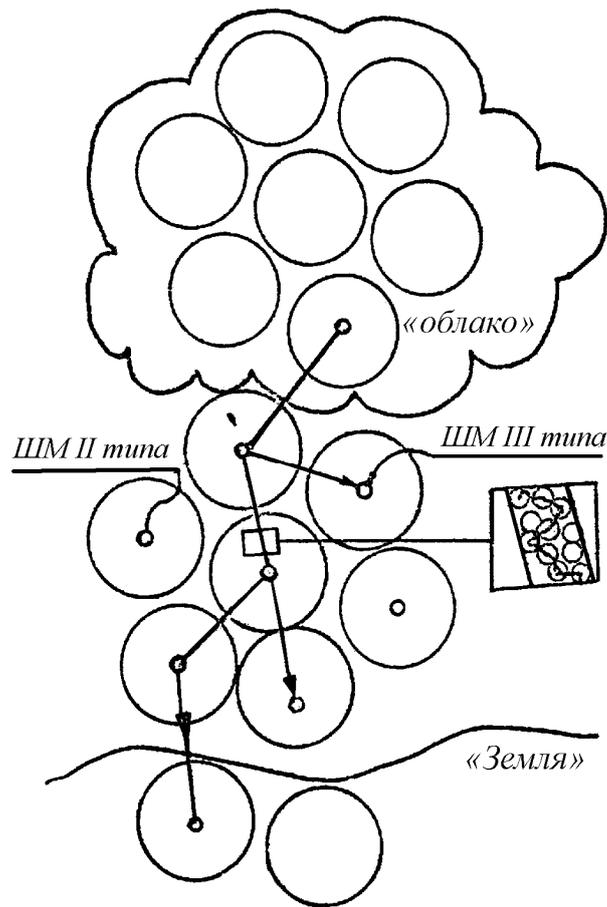
О возможности существования УСПов свидетельствуют природные образования подобного типа, например, шаровые молнии (ШМ). Кластерность их структуры обнаруживается в анализе свидетельских показаний и обосновывается системотехническим анализом [8].

Однако до сих пор в лабораторных условиях УСПы получать стабильно не удавалось, известны лишь отдельные случайные их проявления. Анализ известных нам попыток [9, 10] показывает, что главная причина неудач заключается в отсутствии в установках действия достаточно мощного МК-фактора.

В природных условиях, согласно системотехническому моделированию [8], ШМ появляются на предразрядовом этапе грозового разряда в ходе самоорганизующегося оптимального процесса транспортировки зарядов между двумя обкладками конденсатора (земля–облако). МК-моделирование приводит к прогнозу характерных параметров пространственного распределения узлов повышенной напряженности между обкладками, обуславливаемых МК-структурой земной поверхности, в которых только и могут появляться ШМ. До недавнего времени разномасштабная блочность (фрактальность) структуры земной коры не учитывалась в геофизике [7] и, следовательно, в физике атмосферных разрядов. Использовалась в основном модель однородной среды. Исследования, проводимые в ИФЗ им. Ю.О. Шмидта под руководством М.А. Садовского, доказали, что этот подход неадекватен действительности. Поверхность Земли фрактальна, следовательно, и распределение зоны повышенной концентрации энергии во всех ее видах (от механической и электрической до гравитационной) фрактально (МК-структура с шагом  $L_{k+1}/L_k \approx 3,3$ ). Отсюда следует, что **накопление заряда и потенциала перед грозой пространственно неоднородно и имеет фрактальную структуру**. Аналогично должен быть распределен и заряд в облаке, морфология которого, как известно, зависит от морфологии земной поверхности.

Т.о., накопление заряда и распределение на обкладках «конденсатора» земля–облако — фрактально, что создает между ними фрактально-неоднородную структуру в атмосфере и, при наличии повышенной влажности и (или) запыленности, именно через узлы этой МК-структуры протекает разряд. При этом часть узлов остаются топологически несвязанными с разрядом, другая часть — топологически не связанной с землей (висячие вершины графа). В этих узлах образуются ШМ, причем структура их подобна структуре всего пространства земля–облако, в котором протекает процесс, т.е. она — фрактальна. Последнее объясняет повышенную устойчивость ШМ и необычность ее поведения.

Подводя итог, можно следующим образом системно представить этапы развития грозового разряда.



**Рис. 1.2.**  
Путь грозового разряда

При благоприятных для протекания грозового разряда условиях на первом этапе в облаке под воздействием МК-структуры земной поверхности, над которой находится облако (отсюда, кстати, вытекает зависимость частоты возникновения гроз от степени фрактальности земной поверхности данного региона), возникают узлы напряженности, куда стекаются одночленные заряды. В результате в облаке создается сильно нерегулярное электромагнитное МК-поле.

На втором этапе в пространстве между землей и облаком при наличии достаточной влажности и (или) запыленности постепенно так же формируется МК-структура за счет стекания зарядов в узлы повышенной напряженности. Здесь, видимо, процесс формирования начинается с нижних уровней организации, постепенно захватывает все более высокие этажи вплоть до масштабов, соизмеримых с расстоянием между землей и облаком:  $L \approx (3-5)D$ , здесь  $D$  — расстояние между центрами кластеров  $j$ -го уровня. Процесс заканчивается в момент формирования верхнего уровня МК-структуры. Уже на этом этапе в узлах повышенной напряженности возможно формирование предгрозовых ШМ («связанного» 1-типа), которые, перемещаясь в пространстве, могут до определенного предела «впитывать» дополнительную энергию.

Третий этап — собственно грозовой разряд. Его процесс достаточно полно описан, однако здесь добавляется существенная деталь — стриммер «обегает» пространство по кратчайшему пути **между узлами МК-структуры**, поэтому путь его так же должен быть фрактален (рис. 2). Из последнего вытекает важное следствие, которое может стать ключевым проверочным тестом для всей модели: рас-

пределение углов между дугами молнии (углов излома траектории разряда) должно иметь четкие максимумы, соответствующие величинам углов между дугами 3-мерного графа, соединяющими центры шаров типичных центросимметричных упаковок, например, додэкаэдрической упаковки 1+12. Фрактальным, кстати, должен быть и звуковой спектр грома.

Из вышенаписанного следует, что по чисто внешним условиям следует разделять ШМ на-3 типа: 1 — связанный с облаком и землей, «доразрядовый» тип; 2 — свободный «послеразрядовый», через который не прошел разряд; 3 — свободный «разрядовый», образовавшийся на конце ветви молнии, не дошедшей, до поверхности земли.

Следует заметить, что модель предсказывает [8] различие ШМ по количеству уровней внутренней МК-структуры. Наиболее устойчивыми, видимо, являются ШМ с полным набором уровней ( $k=3,3$ ). Кроме того, разрушение ШМ должно происходить поэтапно, по мере разрушения ее уровней. Отсюда спектр ее излучения (и цвет) обуславливается уровнем разрушения. ШМ, которая сохраняет стабильность своей МК-структуры, вообще не должна излучать (так называемые «черные ШМ»). Здесь же можно указать, что разряд ШМ может приводить к скачкообразному стеканию разряда с соседних «непроявленных» узлов напряженности, что приводит к «дистанционному» воздействию, часто описываемому очевидцами.

### 3. Системная схема установки для получения УСПов

Все известные нам лабораторные установки по получению УСПов [9, 10] имеют металлические электроды с практически **однородным** распределением заряда по поверхности. Это является их **главным недостатком**. т.к. в межэлектродном пространстве не формируется структура с узлами-концентраторами напряжения, в которых могли бы на определенном этапе наращивания напряжений на обкладках конденсатора возникнуть УСПы.

Учитывая все известное нам по особенностям дискретной топологии кластерных структур, можно предположить несколько вариантов получения УСПов в лабораторных условиях.

#### 1. Электроды:

- а) металлические, составные;
- б) неметаллические;
- в) комбинированные;
- г) металлические, сплошные.

#### 2. Механическое состояние электродов:

- а) ненапряженное;
- б) напряженное.

#### 3. Состав среды:

- а) водные аэрозоли;
- б) водопылевые аэрозоли.

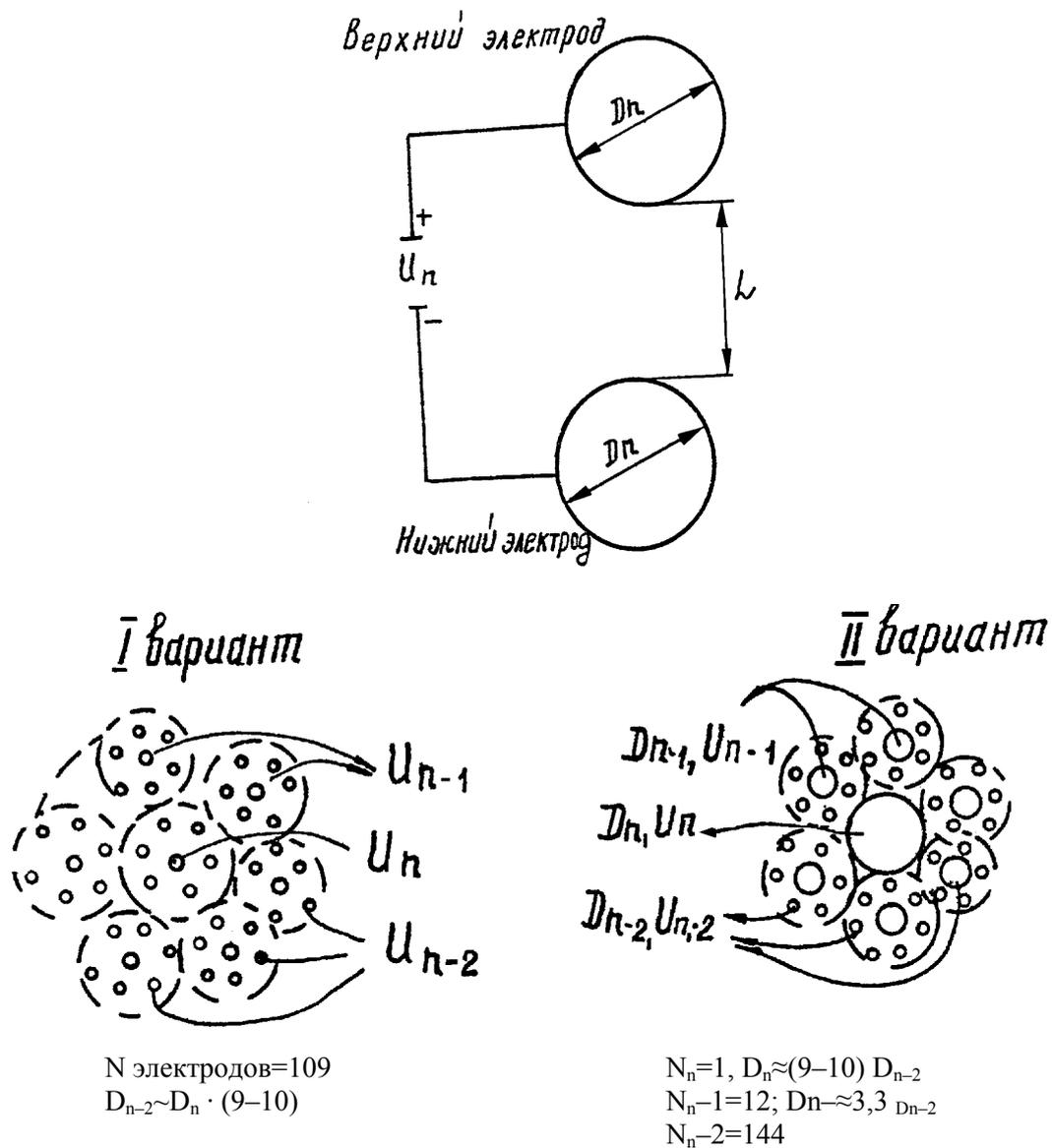
#### 4. Положение электродов:

- а) статическое;
- б) динамическое.

#### 5. Повышение напряжения на электродах:

- а) равномерное;
- б) по заданной программе.

6. Использование внешних стимуляторов кластерообразования, например, магнитных полей с МК-структурой.



**Рис. 2.**  
Структурная 2-мерная схема электрода

На первом этапе проверки системотехнической модели получения УСПов рассмотрим наиболее простой вариант: 1а-2а-3а-4а-5а.

Для его реализации необходимо создать специальные электроды, элементы которых (например, металлические шары разных размеров) образуют в пространстве фрактальную структуру.

Соотношение параметров (рис. 3) можно выбрать в следующем диапазоне:

$$D_n/D_{n+1} \approx 3,15-3,3; \quad n=3-5; \quad U_n/U_{n-1} \approx 3x, \quad L \approx (1-10)D_n,$$

где  $U_n$  — напряжение на электродах n-го уровня;

$x$  — свободный параметр, выбираемых из ПК-модели,

в частности,  $x_1=1, x_2=3$ .

Рекомендуемые значения:

1)  $D_{\max} = 10-15 \text{ см}$

2)  $D_{\max} = 1-1,5 \text{ см}$

3)  $D_{\max} = 1-1,5 \text{ мм}$ .

Кроме описанного варианта возможно создание установок с другими компонентами, например, с использованием: неметаллических электродов (1б) из зерен карбида кремния черного различной зернистости с электропроводностью  $1-10^2 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ . Либо из сверхпроводящей пористой керамики с фрактальной структурой;

электродов из металлов, но с МК-структурой минералогического типа (1в), полученных по технологии прямого твердотельного синтеза, имеющих большую пористость (40–60%);

металлических электродов (1г), подвергнутых предварительному деформированию (например, растяжению вплоть до пластического разрушения), обращенных в рабочую зону областью разрыва шейки, которая имеет МК-структуру;

металлической проволоки, подвергнутой пластическому (или усталостному) деформированию, которая взрывается проходящим по нему электротоком. Т.к. после деформирования материал имеет повышенную степень фрактальности структуры, то в первоначальный момент после взрыва проволоки образовавшееся, облако плазмы, может сохранить МК-структуру, что должно стимулировать появление УСПов;

металлических и керамических электродов, в момент генерации ШИМ подвергающихся статическому или циклическому механическому нагружению (2б).

В состав среды можно вводить кластерообразующие компоненты, такие, например, как угольная пыль (3б) или бишофит. Кроме того, необходимо, видимо, чтобы аэрозольное облако не выдувалось из межэлектродного пространства, а оставалось достаточное время на месте.

Электроды в момент генерации могут перемещаться друг относительно друга с различными скоростями (4б), либо вращаться или колебаться с определенной частотой, соизмеримой с межкластерными расстояниями.

Одним из перспективных путей получения МК-структуры в среде является метод ее внешней стимуляции за счет помещения среды во внешнее магнитное поле с макро-МК-структурой минимум 3-х уровней. Это может «запустить» процесс кластерообразования «сверху вниз» от макроуровней к микро-. В качестве генератора МК-поля можно использовать набор катушек, расположенных в пространстве в соответствии со схемой на рис. 3.

Важнейшим параметром генерации УСПов является достаточно необходимое время «выдержки», в течение которого происходит постепенное структурирование среды, при этом напряжение на электродах не должно превышать  $(0,01-0,8)U$  пробоя.

Во избежание несчастных случаев установка должна быть изолирована от выхода из рабочей зоны свободных УСПов. Рекомендуется защита — водная пленка на стеклянном или пластмассовом колпаке.

#### **4. Транспортная задача и ее физические аналоги**

Задача нахождения алгоритма прокладки оптимальной сети дорог при заданных источниках строках грузов была поставлена перед автором в 1984 г. В.А. Уфимцевым на курсах по систематическому проектированию. Алгоритм был разработан для конкретной транспортной ситуации — реальных перевозок грузов. При этом, однако, выяснилось, что ключевые методы, заложенные в алгоритм, имеют более широкое применение в классе «транспортных» задач — передача сигналов, заряженных частиц и т.п.

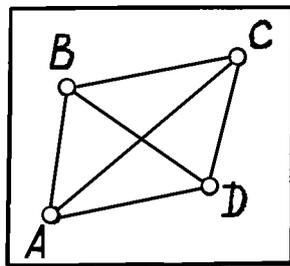
Здесь излагается общее описание логики алгоритма, в нем опущены многие частные детали и проверочные тесты. Но уже в таком виде найденные методы

позволяют в дальнейшем использовать метод имитационного моделирования для анализа конкретных физических процессов, в частности, для моделирования установки по получению УСПов.

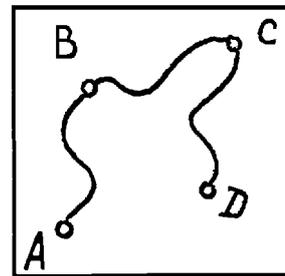
Итак, задана «территория» (существенно неоднородное 2-мерное пространство), на которой определены все источники-стоки  $A_i$  грузов, например, населенные пункты. Требуется найти оптимальное решение прокладки «магистралей» между  $A_i$  «грузопотоки» между которыми и их интенсивности  $P_i$  известны ( $P_i =$  количество единиц условного груза / амортизационный период дороги). Под оптимальным понимается такое решение, которое требует минимальных суммарных затрат на прокладку и эксплуатацию дорог плюс на перемещение грузов по дорогам.

Существует два экстремальных решения, минимизирующих одну из функций — строительную или транспортную.

1) Дорога прокладывается между всеми пунктами напрямую (отображение в виде полного графа). Затраты на перевозки минимальны, но строительные затраты существенно выше минимально возможных (рис. 4а).



а)



б)

**Рис. 4а.**

Экстремальные варианты прокладки дорог.

а) полная сеть дорог с минимумом затрат на перевозки;

б) сеть дорог с минимумом затрат на строительство.

2) Дороги прокладываются по наиболее легким участкам территории таким образом, чтобы их стоимость была минимальна и все грузоперевозки при этом сохранялись (рис. 4б). Затраты на перевозки значительно превышают минимально возможные.

Если отбросить частные случаи, когда транспортные расходы пренебрежительно малы по сравнению со строительными, либо наоборот, то оптимальное решение всегда отличается от экстремальных.

Рассмотрим два варианта решения.

Вариант первый.

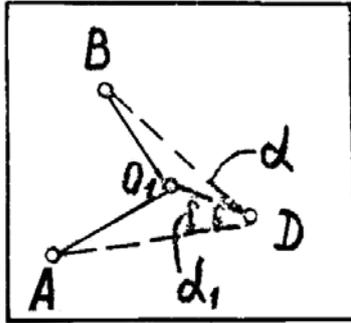
Вся территория разбивается на участки с одинаковой стоимостью прокладки единичного отрезка пути  $-S_i$ . Выбирается наиболее дешевый базисный участок с  $S_0$ .

Строится полная сеть дорог. Для этого на карту территории наносятся все пункты  $A_i$  и соединяются прямыми отрезками. Затем каждому отрезку приписывается соответствующе грузообороту  $P_i$ . Вычисляется средняя стоимость перевозок ( $C_0$ ) (рубли/усл.грузы · км) и определяется стоимость грузопотока  $C_i$  (рубли/км) за амортизационный период.

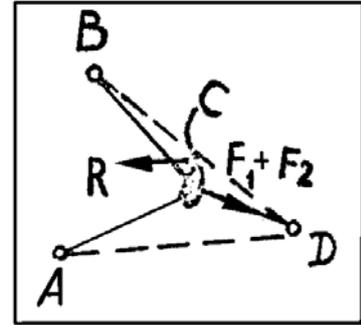
Далее производится поэтапное «стягивание» дорог с целью удешевления затрат на строительство за счет слияния в одну транспортную артерию близких дорог. Получаемая при этом экономия должна превышать увеличение расходов на транспортирование грузов, возникшее за счет искривления путей.

Для стягивания на сети дорог выбираются такие пары при  $A_i$ , углы между которыми минимальны. На рис. 5а приведен пример стягивания. Из узла Д откладывается единичный отрезок  $DO_i$  под таким углом  $\alpha_1$  к АД, чтобы выполнялось условие:

$$(l_{BOiD} - l_{BD}) \cdot C_{BD} + (l_{AOiD} - l_{AD}) \cdot C_{AD} = \Delta P_i \rightarrow \min. \quad (1)$$



а)



б)

Рис. 5.

- а) первый этап стягивания дорог АД и ВД в общую дорогу  $DO_1$ ;  
 б) физический аналог стягивания — две пружины АД и ДВ стягиваются кольцом С с усилием R, осевая реакция пружин  $F_1+F_2$  стремится вернуть С в точку Д

Выбор  $\alpha_i$  можно осуществлять пошаговой проверкой условия (1) в диапазоне значений:

$$0 \leq \alpha_1 \leq \alpha \quad (1)$$

Проверка на: оптимальность стягивания после окончательного выбора  $\alpha_1$ , осуществляется по формуле:

$$\Delta P_i \leq \Delta S_i, \quad (2)$$

где:

$$\Delta S_i = (l_{DO_i} + l_{DA}) \cdot S_0 - (l_{DO_i} + l_{O_iB} + l_{O_iA}) \cdot S_0. \quad (3)$$

Экономия на строительстве дорог должна быть больше возросших затрат на транспортировку. Точность расчета зависит от степени дискретности шагов (от  $\Delta \alpha_i$  и  $\Delta l_{DO}$ ).

Поэтапное стягивание производится до момента, когда неравенство (2) перестанет выполняться. Точка  $O_i$ , при которой достигается условие  $\Delta P_i = \Delta S_i$ , принимается в качестве оптимального узла стягивания дорог АД и ВД.

Далее выбирается следующий наименьший угол в ряду углов при вершинах  $A_i$ . Операция стягивания повторяется. Таким образом достигается постепенное стягивание всех дорог до оптимальных узлов. В результате может появиться несколько вариантов оптимальных сетей, например, таких как на рис. 6.

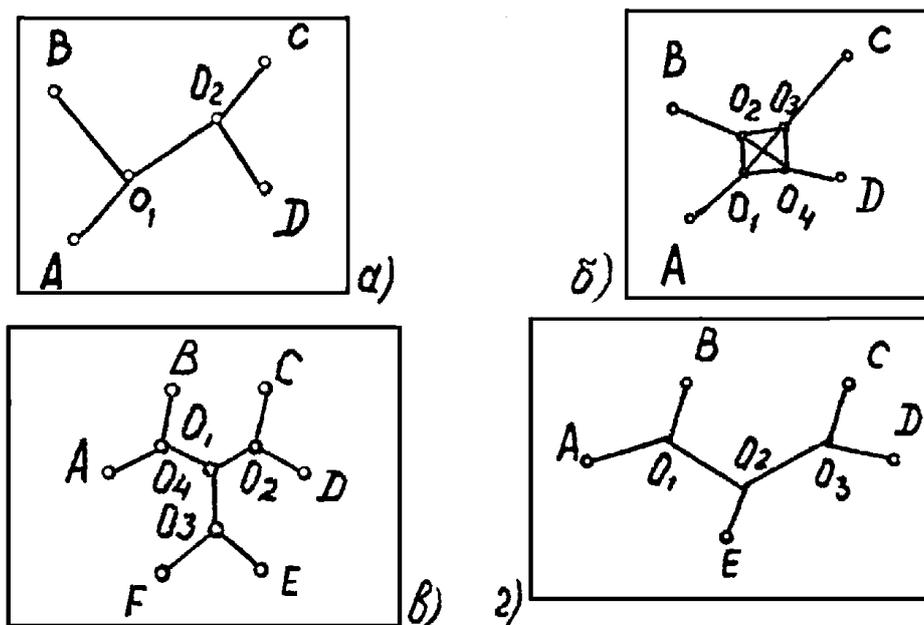


Рис. 6.  
Варианты оптимальных сетей дорог после «стягивания».  
а) «перекладина»; б) «конверт»; в) «звезда»; г) «молния»

На следующем этапе на карту с идеальной оптимальной сетью дорог наносятся участки различной стоимости прокладки дорог,  $S_i$  и выбираются локальные экстремумы — наиболее дешевые участки различных топологических типов: «плато», «овраги», «ямы». Эти участки покрываются триангуляционной сеткой с единичной длиной ребра. В полную сеть (в полный граф) соединяются все  $A_i$ , узлы  $O_i$  и узлы сетки  $O_j$ . Затем последовательно проверяются все возможные варианты сечений стоимостного рельефа между  $A_i$  и  $O_j$ . Взбирается наиболее дешевый вариант. В результате на карту реального рельефа наносится уже реальная оптимальная сеть дорог 1 типа (рис. 7).

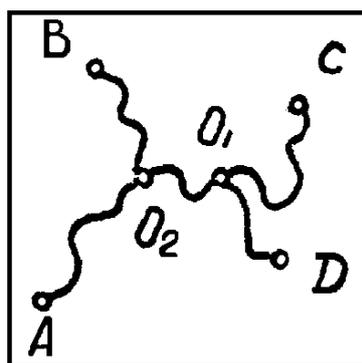


Рис. 7.  
Реальная оптимальная сеть дорог 1 типа

Описанный метод при всей его простоте и наглядности имеет существенный недостаток — узлы дорог  $O_1$  и  $O_2$  идеальной оптимальной сети необоснованно сохраняются неизменными при проектировании реальной оптимальной сети.

Однако уже в этом решении можно увидеть две интересные физические аналогии, которые будут необходимы нам в дальнейшем.

Аналогия первая. Операцию поэтапного стягивания можно проводить на физической модели, в которой дороги между  $A_i$  заменены пружинами, жесткость которых прямо пропорциональна  $P_i$ . Тогда стягивание пружин проводят кольцом  $C$  (рис. 5б) до тех пор, пока оно не будет уравновешено реакциями пружин  $F_1$  и  $F_2$ . Усилие  $R$  — аналог  $\Delta S_i$ , сумма реакций  $F_1+F_2$  — аналог  $\Delta P_i$ .

Аналогия вторая. При определении оптимального пути через неоднородную территорию, мы использовали алгоритм перебора вариантов, как наиболее традиционный метод при решении задач на ЭВМ. Однако, если бы нам удалось «заставить» природу решать эту задачу, она скорее всего «воспользовалась» бы закономерностью прохождения света через неоднородную среду. Известный принцип Ферма гласит: в неоднородной среде свет избирает такую траекторию, вдоль которой время, затрачиваемое им на преодоление пути от одной точки до другой минимально. Углы преломления при этом пропорциональны скоростям распространения света. Т.о., чтобы минимизировать затраты на строительство пути между двумя пунктами  $A_1$  и  $A_2$ , можно построить физическую модель, в которой по контуру участков с различной  $S_i$  вырезаются прозрачные пластины достаточной толщины, из которых набирается модель территории между  $A_1$  и  $A_2$ . При этом материал пластин подбирается так, чтобы скорость распространения в них света была пропорциональна соответствующим значениям  $1/S_i$ . Затем посылается из точки  $A_1$  узкий луч света таким образом, чтобы он попал точно в  $A_2$ . «Выбранная» лучом траектория и есть искомым путем, минимизированный по строительным затратам. Если бы при этом удалось еще и каким-то образом учитывать возрастание  $\Delta P_i$ , то данный метод позволил бы весьма оперативно решать задачу оптимизации транспортных сетей.

Вариант второй.

Его отличие в том, что реальная оптимальная сеть дорог со всеми ее связями между  $A_i$  (полный граф) находится сразу (рис. 8.).

Выбор оптимальной дороги между двумя  $A_i$  решается автономно с помощью триангуляционной сетки, масштаб которой можно сделать переменным, в зависимости от изменчивости стоимостного рельефа.

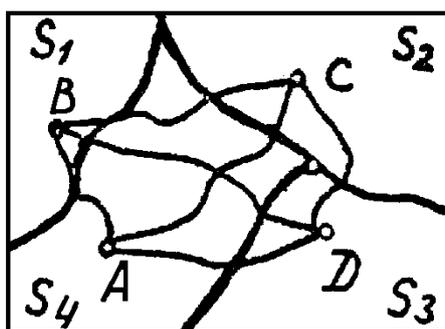


Рис. 8.

Реальная полная сеть дорог 2 типа

Затем опять же проводится операция стягивания, но уже не с минимального угла при  $A_i$ , а начиная с минимальной площади, ограничиваемой соседними единичными отрезками дорог, если между ними нет границы участков с различной стоимостью,  $S_i$ . Если такая граница есть, то расчет ведется по минимальному

объему участка стоимостного рельефа, заключенного между упомянутыми единичными отрезками дорог (рис. 9).

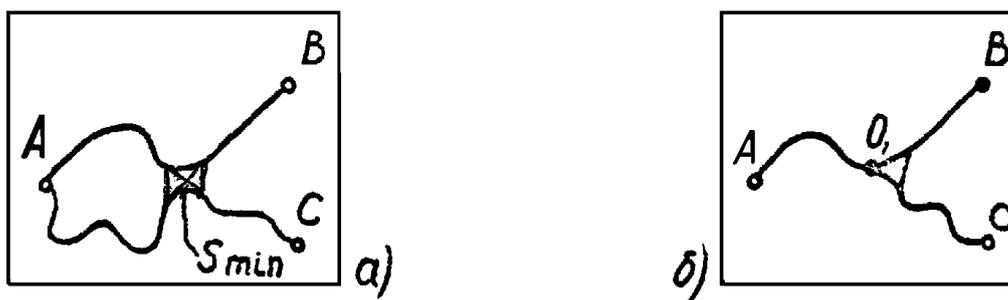


Рис. 9.

Стягивание двух дорог АВ и АС в сеть (АО<sub>1</sub>–О<sub>1</sub>В–О<sub>1</sub>С)

Второй вариант, безусловно, даст действительно оптимальные решения, но он требует гораздо большего перебора вариантов при стягивании.

На всех примерах мы рассматривали небольшое число  $A_i$ : от 3 до 7. Но если пунктов на порядок больше, то происходит качественный скачок и возникает ситуация поуровневого укрупнения дорог. Это возможно за счет своеобразного «дефекта стоимости», т.к. пропускная способность дороги растет с некоторым опережением ее стоимости. Ведь очевидно, что проложить дорогу два раза шире единичной — дешевле, чем построить две единичные дороги в различных местах. Т.о. при значительном укрупнении транспортных магистралей, пропускная способность дороги возрастает быстрее, чем ее категориальная стоимость.

Этот экономический выигрыш позволяет при наличии сквозных грузопотоков укрупнять дороги (повышать их категориальность). В результате на карте территории от сети дорог можно перейти к иерархической сети оптимальных траекторий (рис. 10).

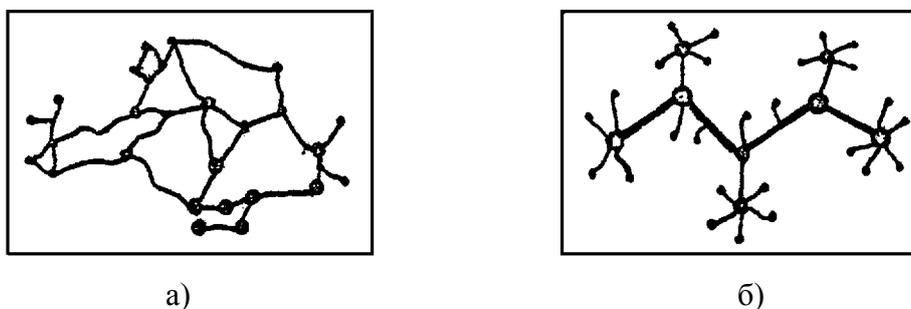


Рис. 10.

Переход от оптимальной реальной сети дорог (а)  
к оптимальной иерархической сети дорог (б)

Образующийся при этом выигрыш позволяет проводить полную оптимизацию по всем возможным уровням иерархии.

Замечательно, при этом иерархия сетей порождается в динамическом процессе как бы самопроизвольно, она стимулируется экономическим выигрышем (выигрышем в энергии, затрачиваемой на транспортирование.) Следовательно, для появления иерархии сети транспортных потоков достаточно исходно иметь большую сеть источников-стоков нижнего уровня иерархии и условия, обеспечивающие

оптимизацию перемещений по этой сети. Причем, эта динамическая иерархия приводит и к статической иерархии  $A_i$  (см. рис. 10б), а число уровней в этой иерархии зависит лишь от исходных условий и устанавливается оптимально.

Итак, мы видим, что задача оптимизации транспортных перевозок при ее решении приводит к появлению оптимальной **иерархической** структуры грузопотоков и связанной с ней статических параметров даже в том случае, когда исходная среда  $A_i$  была масштабно однородной.

Приведем пример еще одной физической аналогии — аналогии стягивания.

Если на карту траекторий в полной реальной сети положить проводники электрического тока и пустить по ним ток в одном направлении величиной обратно пропорциональной  $P_i$ , то между ними возникнут силы, достаточные для «растягивания» проводников или их выпрямления, которые будут стремиться их сблизить в соответствии с законом:

$$F = B \frac{(I_1 l_1)(I_2 l_2)}{d^2},$$

где  $I$  — ток,  $l$  — длина участка проводника с током,  $d$  — расстояние между проводниками.

Эта аналогия, очевидно, имеет гораздо большее значение для **токов свободных зарядов** в межэлектродном пространстве, где в результате, должны образовываться узлы и ребра МК-структуры. Существенная разница между стягиванием в имитационной системотехнической модели и физической модели заключается в том, что в первой операция проводится последовательно и пошагово, а во второй — параллельно и одновременно во всех точках проводника.

## 5. Заключение

Описывая задачу оптимизации затрат на транспортирование грузов по неоднородной территории, мы показали, что она имеет несколько физических аналогий. Можно использовать эти аналогии для более эффективного решения экономических задач. Но и наоборот — полученные оптимизационные принципы использовать при рассмотрении реальных физических процессов.

Во втором случае достаточно более абстрактно подойти к понятиям: территории — неоднородного  $n$  — мерного пространства; груза — электрических зарядов, атомов, сигналов и т.п.; дороги — траектории, последовательности прохождения информационных блоков и т.п. А главное, рассматривать оптимизацию не экономических расходов, а энергетических затрат.

Если в этом случае применить полученные принципы к процессу генерации ШМ или УСПов, то следует отметить, что аналогия со световым лучом, прокладывающим оптимальную траекторию через неоднородное оптическое пространство и аналогия со стягиванием в иерархические структуры траекторий медленно стекающих электрических зарядов трансформируются из аналогий в детали реального процесса грозы, в котором протекание разряда самоорганизуется по оптимальному пути, что на порядок снижает напряжение «пробоя». Именно в этом мы видим ключ к пониманию процессов правления ШМ и генерации УСПов.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Петров Ю.М.* Кластеры и малые частицы, М.: Наука, 1986.
2. *Сухонос С.И., Бердиков В.Ф.* Упаковочная модель возникновения устойчивых отдельностей / ВНИИАШ. — Ленинград, 1986. С. 2–32. Деп. в ВНИИТЭМР 30.04.86 г., № 29–86.
3. *Сухонос С.И.* Разноразмерное моделирование устойчивых структур микрокластеров / ВНИИАШ. — Ленинград, 1986. С. 2–28. Деп. в ВНИИТЭМР 20.06.86 г., № 52–86.
4. *Громов Э.О., Бердиков В.Ф.* Структурный механизм прочности твердых тел / Тез. докл. V Республ. конф. «Физика разрушения» (Черновцы, 21–23 мая 1985 г.). — Киев, 1985 г. С. 217–218.
5. *Mandelbrot B.* Fractals (from, chance and dimention), 1977.
6. *Садовский М.А.* О распределении размеров твердых отдельностей. ДАН СССР — 1983. Т. 269; № I. — С. 69–73.
7. *Садовский М.А., Болховитнов Л.Г., Писаренко В.Ф.* Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1986. — 100 с.
8. *Сухонос С.И.* Общая классификация объектов в пространстве признаков «масштабный фактор — тип размерности» / ВолгПИ. — Волгоград, 1986. С. 2–45. — Деп. в ВНИИТИ от 30.03.86 г., № 1044-В86.
9. *Имятинов И., Тихий Д.* За гранью законов науки. — М.: Атомиздат, 1980. — 190 с.
10. *Барри Дж.* Шаровая молния и четочная молния. — М.: Мир, 1983. — 276 с.