



© В. М. Трофимов

DOI: [10.15293/2226-3365.1704.10](https://doi.org/10.15293/2226-3365.1704.10)

УДК 514.8 + 008 + 378

О МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ СООБРАЗИТЕЛЬНОСТИ

В. М. Трофимов (Краснодар, Россия)

Проблема и цель. Использование геометрии в описании природы, начиная от Платоновых тел, прошло длинный путь вплоть до современной теории струн. По-видимому, не случайно, что геометрия всегда являлась надёжным инструментом моделирования сложных явлений. В статье ставится цель найти такие универсальные геометрические образы, которые позволили бы визуально иллюстрировать известные приёмы теории решения изобретательских задач.

Методология. В качестве основы метода создания геометрических образов, исходя из принципа минимума сложности, предложена комбинация из четырёх одинаковых фигур. Причём в качестве элементарной фигуры выбран такой простейший геометрический объект, который содержит асимметрию и кривизну в качестве необходимых требований к нему как элементарному объекту. Такой выбор комбинации позволил охватить практически все приёмы решения задач. В работе приведены лишь некоторые примеры приёмов, а именно: принципы дробления, асимметрии, объединения, вынесения, сфероидальности, местного качества.

Результаты. Эвристические методы теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), пополняемые и развиваемые в мире, нуждаются в компактном представлении. Изобретательский опыт человека привел к тому, что наиболее эффективными когнитивными инструментами практики стали геометрические формы. В статье предложена методика конструирования визуальных образов для известных из ТРИЗ методов и проиллюстрирована на нескольких примерах этих приёмов. Чтобы оценить мощь геометрических образов в решении сложных задач в различных областях творческой деятельности, приведены примеры из области механики и архитектуры. Пример использования цепной линии для проектирования сводов храма имеет в основе тот же фундаментальный принцип минимума функционала (потенциальной энергии), что и эффективное использование этого же принципа по отношению к кинетической энергии в решении задачи описания турбулентного течения, где в качестве геометрических образов выступают организованно движущиеся окружности.

Заключение. Соотнесение подходящих геометрических образов в самом начале постановки научного исследования, по-видимому, недооценивается при построении эффективных математических моделей.

Ключевые слова: моделирование; ТРИЗ; геометрические образы; техническое творчество; визуализация; турбулентность; знаки; когнитивная семиотика.

Трофимов Виктор Маратович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры информационных систем и программирования, Кубанский государственный технологический университет.

E-mail: vtrofimov9@yahoo.com



*One of my wishes is that those dark trees,
So old and firm they scarcely show the breeze,
Were not, as twere, the merest mask of gloom,
But stretched away unto the edge of doom¹.*

Я одного желанья не таю:
Дерев под ветром дружную семью
Увидеть не дубраву nocturnal –
Оправую, вобравшей мир земной.
(перев. В. Топорова)

Введение и обзор литературы

История когнитивной науки началась раньше чем то, что мы теперь называем наукой, поскольку развитие познавательных способностей являлось требованием практики выживания человека в изменяющейся среде [1]. Любая научная идея, пытающаяся объяснить какие-либо стороны существующей вне человека реальности, нуждается в объективации. Под объективацией знания понимают его перевод в формы чувственного мира. Одной из форм объективации может быть визуализация.

В современной науке и технологических процессах визуализацию часто применяют для представления динамики любых абстрактных величин (физических параметров, экономических характеристик и т. д.) в ходе обработки сложной информации о структуре исследуемых объектов и систем. Также часто используют картирование как визуализацию предметных областей охвата в анализе почти любых явлений и процессов. Более активное использование геометрических образов имеет черты некоторого метода, например, теория графов в дискретной математике или диаграммы Фейнмана в квантовой механике². Тем не менее долгое время использование геометрических фигур считалось упрощением и даже примитивизацией реальной сложной ситуации

[1]. Существует психологическая причина, объясняющая феномен визуализации [1]. Поэтому стремление исследователя фиксировать результаты своей работы в образной форме объясняется тем, что информация, выраженная таким образом, легче усваивается, а ощущения, из которых структурируется визуализированное представление, имеют очень древнюю историю своего существования. Они близки человеку, эмоционально насыщены, т. к. связаны с самыми глубинными основаниями его психики. С этим трудно не согласиться, и поэтому поиск системного использования геометрических образов в любой области знания может быть перспективным с методической точки зрения.

В настоящее время геометрические образы в гуманитарных науках, искусстве и архитектуре привлекаются вполне системно как почти необходимый элемент поиска новых идей [12; 22; 23]. Так, для классификации различных ценностных ориентаций (из опросов населения) и объединения их с выводами прошлых тысячелетий предложена геометрическая схема ориентаций, позволяющая свести в единое целое большие массивы информации [22]. Этот подход особенно часто связан с ис-

¹ Robert Frost. *Selected Poems*. – New York: Fall River Press, 2011. – 334 p.

² Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: учеб. пособие. В 10 т. Т. IV / В. Б. Берестецкий,

Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. Квантовая электродинамика. – 3-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 728 с.



пользованием фигурной композиции «Витрувианского человека» для классификации мировоззрений отдельных людей [23].

Метод картирования дал основу создания интеллект-карт в индивидуальной практике концентрации мышления. Эти карты используются как способ упаковки информации, активизации зрительной памяти, как поддержка при принятии сложного решения, для увеличения скорости мышления при мозговом штурме, при передаче информации другим лицам. Применяются они также и при дистанционной форме обучения [9]. Высокотехнологичный способ помощи слепым опирается на построение когнитивных карт [14]. Изучен интересный вариант использования карты мышления всего мозга в для анализа предпочтений в обучении учащихся больших классов [16]. Структурная оптимизация проектируемых продуктов промышленности включает оптимизацию размеров, формы и топологии, но все они связаны с геометрической визуализацией образа продукта [13].

В то же время в науке об эвристических методах решения задач речь идёт о списочной классификации принципов, эвристик и шаблонов, и одна из главных задач состоит в уменьшении разрастающегося их количества. Так, приводится анализ возможного сокращения общего числа приёмов решения задач с 469 до 263 [20]. Но даже такое сокращение не позволяет удерживать в поле зрения все методы в процессе решения конкретной задачи в силу ограниченности оперативного внимания. Если представить творческий процесс из большого числа нелинейных связей и ассоциаций на множестве списочного состава приёмов, то становится ясной бесперспективность такого пути. Кроме того, обнаруживается проблема создания достаточной мотивации у студентов при освоении эвристических методов решения

задач, когда курс перегружен обилием приёмов и задач [17], особенно с использованием асинхронной дистанционной формы обучения [18]. Современное состояние с обучением эвристическим методам вскрывает особую трудоёмкость и большие затраты времени для процесса овладения изобретательскими методами не только студентами, но и инженерами [19]. Одновременно наблюдается массовое проникновение эвристических методов в различные сферы приложения далеко за пределами традиционной инженерии, в частности, в архитектуру [15]. Таким образом, ощущается потребность повышения эффективности и скорости обучения этим методам не только в промышленности, но и дизайне, архитектуре и других областях их использования. Учитывая информационную концентрацию геометрических образов, можно предположить, что их применение в области обучения эвристическим методам решения задач окажется полезным и продуктивным.

Следует особо отметить проявившуюся в последнее время динамику расширения когнитивных наук, объединения их на стыке с другими науками, в частности, образование новой области, называемой когнитивной семиотикой [8], потенциал которой связан с такими знаковыми системами как геометрические образы. Успешно применен метод построения семантической карты в области бионики [24]. Другой аспект связан с конструктивной разработкой понятия идеальности и использования его в приложениях концепции Axiomatic Design (Аксиоматическое проектирование) [11]. Среди рассматриваемых изменений идеальности включают следующие характеристики: функциональность, независимость, сложность, число частей и компонент, модульность и целостность, способность к изменению и эволюции, гибкость.



Существует ещё один важный аспект применения геометрических образов, которые отображают товары и услуги в процессе их продвижения на рынке. Он связан с цветовым восприятием и его отличиями по отношению к форме, связи с языком и культурой. Проведён статистический анализ таких отличий для четырёх европейских и трёх азиатских языков [21]. Эти исследования также важны с точки зрения однозначной трактовки дорожных знаков и городских указателей.

Цель и основные допущения

В русском языке слово «сообразительность», означающее ум, смекалку, прямо указывает на способ функционирования ума – *эффективное соотнесение образов*. И, в первую очередь, надо полагать – визуальных образов. Интересно, что в английском ближайшее по смыслу – *асипен* – указывает на быстроту, остроту и правильность мышления³, а не на то, как этого достигнуть. Будем отличать смысл термина «сообразительность» от понятия «соизмеримость», которое тоже имеет говорящее имя, но смысл его намного более узкий, точнее, второй термин имеет существенно меньшее семантическое поле в таком же примерно соотношении, как и между терминами «образ» и «размер».

Мы ставим целью поиск структуры такой системы поддержки прикладного мышления, которая опирается только на визуальные геометрические образы и их комбинации и только такие, которые соответствуют накопившемуся опыту с тем, чтобы сознательно влиять на процесс поиска решений различных задач, содержащих, в частности, технические противоречия, но и не только технические.

Речь идёт о развитии продуктивных способностей в любой сфере приложения человеческого мышления. Обозначим сразу: мы стремимся исследовать практику именно человеческого мышления, а не работу искусственного интеллекта. И хотя известно, что в некоторых подходах к моделированию искусственного интеллекта исследователи пытаются воспроизвести как бы работающий человеческий мозг, например, в моделях нейронных сетей, мы намеренно будем исходить из того, что мозг человека – это чёрный ящик. Следовательно, будем опираться не на известные данные о его структуре, а на человеческий опыт о входах и выходах в эту систему в процессе её деятельности, т. е. исключительно на практику пользования человеческим интеллектом. Будем исходить из следующих предпосылок.

Первое предположение базируется на том, что люди давно и успешно пользуются какими-то неявными инструментами интеллекта для решения очень разных задач в обычной жизни. Это началось уже так давно, что самый большой период практики пользования такими приёмами приходится на времена, когда не было не только среднего образования, но и вообще образовательной системы и даже письменности. А задачи при этом решались достаточно эффективно – люди выживали в непростой обстановке. Изобретательские задачи решались в условиях быстро меняющейся среды, часто опасной, грозящей самому существованию человека. Например, ситуации на охоте требуют быстрого точного принятия правильных решений: и чтобы выжить в условиях опасного единоборства, и чтобы получить результат – добыть необходимую пищу. Согласимся, что уже те ситуации на

³ Longman dictionary of contemporary English. – New ed. – Edinburgh Gate: Pearson : Harlow : Longman, 2003. – XVII, 1949 p.



охоте требовали гораздо большей *сообразительности*, чем выполнение стандартной операции где-нибудь на конвейерном производстве. Наше предположение состоит в том, что простые визуальные образы, подобные современным дорожным знакам помогали тем далёким от нас людям решать задачи во многом сходные с нашей сегодняшней изобретательской деятельностью, и даже более того: она и выросла, и развилась из того опыта. Возможно, это связано главным образом со скоростью обработки мозгом визуальных данных.

Второе предположение связано с тем частично доказанным фактом, что «из математических дисциплин геометрия находится ближе всего к природе». Так формулирует свою мысль Шинтон Яу [25], соавтор центральной идеи современной модели квантовой гравитации – теории струн, базирующейся на введении именно геометрических образов пространств Калаби–Яу. К этому надо добавить неопровержимый уже более ста лет результат общей теории относительности о прямой и единственной связи гравитации с кривизной пространства на макромасштабах (следует из уравнения Эйнштейна, в которое входят только тензор кривизны пространства и тензор энергии-импульса). Таким образом, в основе современной естественно-научной картины мира лежат именно геометрические структуры. Учитывая сказанное, можно предположить, что этот вывод опирается на самый продолжительный и успешный опыт наблюдателя (человека) по обработке именно визуальных данных реальности физического мира и применению этих данных для решения практических задач. Если справедлив антропный принцип, то согласно ему законы природы

имеют геометрическую основу, потому что только такую основу способен познать сформированный опытом язык геометрических образов наблюдателя и его сообразительность.

Результаты исследования

Методика визуализации основных приёмов устранения технических противоречий

В 1960-х гг., когда создавалась теоретическая основа методов решения изобретательских задач, научным сообществом была отвергнута сама постановка проблемы возможной унификации и оптимизации творческих усилий, прорывов, прозрений, всегда представлявших главную тайну технического и научного творчества. Однако такая теория была разработана и известна теперь под именем ТРИЗ во многих развитых странах [2]. В действительности её приёмы и методики оказались существенным продвижением на пути стимулирования технического творчества по сравнению с традиционными методами системного анализа («мозговой штурм», «чёрный ящик»), именно в силу конкретности и бескомпромиссности поставленной цели – найти реальное полное разрешение технического или физического противоречия в каждой конкретной задаче.

Одним из важнейших элементов теории стала разработка нескольких десятков конкретных приёмов (или принципов) устранения технических противоречий, таких как принципы дробления, вынесения, местного качества, асимметрии⁴, объединения – в совокупности порядка сорока приёмов. В силу универсальности задач изобретательства, основан-

⁴ Здесь и далее мы будем использовать устоявшееся представление об асимметрии, не углубляясь в огромный накопленный материал о видах симметрий (см. Урманцев Ю. А. Симметрия природы и

природа симметрии. Философские и естественно-научные аспекты / «Общая теория систем» на Practical Science: http://www.sci.aha.ru/ots/OTS_Simmetry.pdf)

ной по существу на методологии эффективного мышления, эти приёмы могут применяться в любой отрасли знаний, техники и науки. По мысли авторов перед внутренним взором исследователя, конструктора должен лишь вовремя всплыть подходящий приём из вереницы сорока (согласно последней версии этой теории [2]) приёмов устранения технических противоречий. В каждой конкретной задаче, скорее всего, пригодится только один какой-либо способ, но в сознании изобретателя должны актуализироваться все приёмы, т. к. заранее неизвестно, какой из них окажется самым подходящим. По этой причине крайне важно уметь пропускать через сознание многие, если не все, приёмы устранения противоречий за возможно самое короткое время.

Полагая, что понимание начинается с представления, а представление – с визуальной картины, можно предположить, что самый простой способ достичь цели – пропустить перед мысленным взором некоторый набор различных приёмов, буквально просмотреть картинку с «изображениями» методов, иными словами, визуальными образами, поставленными в некоторое соответствие с тем или иным смысловым описанием каждого метода. По такому приблизительно принципу построены знаки в правилах дорожного движения. Зрительный образ того или иного правила позволяет в кратчайшее время безошибочно воспринять (считать) правило и отреагировать на него. Геометрия знака – круг, треугольник, прямоугольник – позволяет структурировать характер правил дорожного движения в пределах трёх важнейших групп, определяющих первую реакцию водителя на ситуацию на до-

роге. Геометрические образы настолько первичны для познавательного процесса, что воспринимаются и различаются даже головоногими, позволяя проводить их дрессировку (имеются такие данные опытов⁵).

Поставим задачу просмотра перед мысленным взором всех основных приёмов устранения технических противоречий в виде простейших комбинаций некоторых геометрических фигур, беря за основу одну и ту же исходную стандартную комбинацию. Для этого требуется решить две задачи: 1) выбрать форму простейшего «кирпичика», из которого может быть получена стандартная комбинация фигур; 2) определиться с количеством кирпичиков в стандартной комбинации.

Для решения первой задачи выдвинем следующие требования:

- 1) фигура должна быть из ряда простейших: круг, треугольник, квадрат, трапеция и т. п.;
- 2) фигура должна нести в себе асимметрию – противоречие, увеличивающее эвристический потенциал фигуры;
- 3) фигура должна иметь элементы границ с ненулевой кривизной.

Можно заметить, что эти требования имеют скорее взаимоисключающий характер. Действительно, если допустить, что противоречие в геометрической фигуре визуализирует свойство её асимметрии, то легко убедиться в непригодности простейших фигур для исполнения этой роли. Все перечисленные элементарные фигуры симметричны относительно какой-либо оси или двух сразу, за исключением лишь параллелограмма, но который при этом (как и большинство других фигур) не имеет элементов границы с ненулевой кривизной. Решением задачи может служить задание

⁵ Современные проблемы изучения головоногих моллюсков. Морфология, систематика, эволюция, экология и биостратиграфия. (Москва, 2–4 апреля 2009 г.) /

Российская академия наук, Палеонтологический институт им. А. А. Борисяка РАН; под ред. Т. Б. Леоновой, И. С. Барскова, В. В. Митта. М.: ПИН РАН. 2009. – 142 с.

двух противоположных границ в фигуре прямоугольник в виде кривых, описываемых

асимметричной нелинейной функцией, например, синуса (рис. 1).

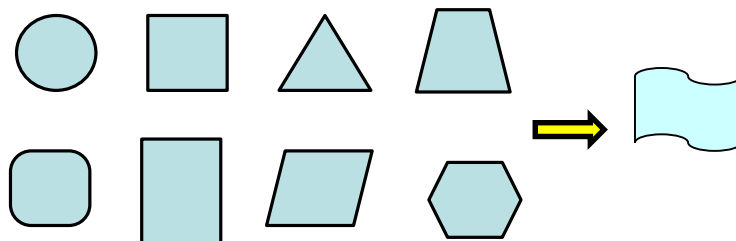


Рис. 1. Выбор элементарного кирпичика для визуализации приёмов творчества

Fig. 1. Selecting an elementary brick for visualization of creativity methods

Фигура, изображённая на рисунке 1 справа, отвечает требованиям асимметрии относительно обеих осей и наличию ненулевой кривизны части границ (рис. 2). Вот почему

мы переходим от фигур прямоугольника или параллелограмма к более сложной фигуре, придерживаясь требования минимума сложности.

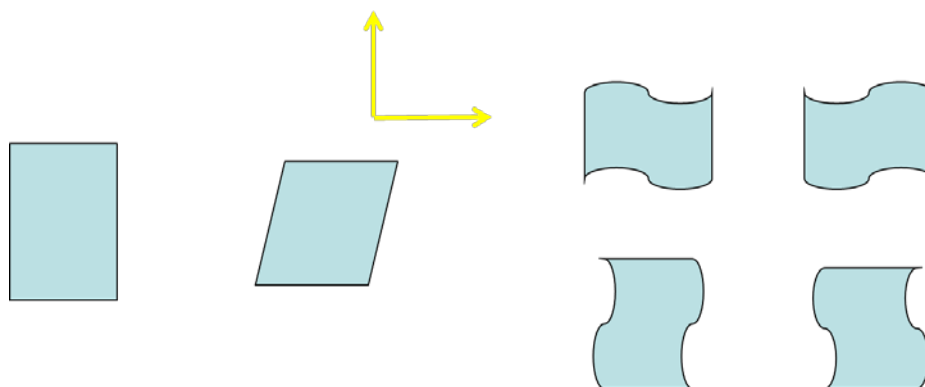


Рис. 2. Удовлетворение требованиям асимметрии и кривизны

Fig. 2. Satisfaction with asymmetry and curvature requirements

Теперь остаётся определить минимальное количество элементарных кирпичиков и их расположение в стандартной комбинации (вторая задача). На этом этапе мы будем стремиться удовлетворить требованию максимальной простоты при наличии необходимого богатства выбора – это также противоречивые требования. Пойдём от предельной простоты: будем увеличивать количество кирпичиков в комбинации, начиная с двух (рис. 3).

Можно сразу заметить, что варианты с двумя и тремя кирпичиками слишком просты и поэтому слишком бедны для конструирования нескольких десятков приёмов устранения противоречий ТРИЗ. В результате поиска мы остановились на комбинации из четырёх кирпичиков, осложнённой крестообразной (узловой) формой сборки (рис. 3, крайний правый вариант).

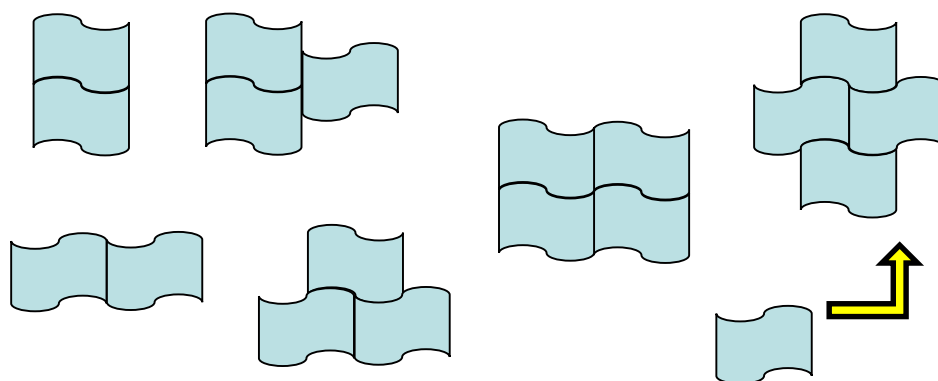


Рис. 3. Выбор стандартной комбинации фигур

Fig. 3. Selecting a standard combination of shapes

Сделаем здесь некоторые пояснения к логике выбора способа представления элементарного кирпичика «визуализации» творческой мысли и стандартной геометрической комбинации таких кирпичиков – «клетки мысли». Их выбор более сложная задача, чем, например, выбор длины строки знаков и подсчет богатства всех возможных перестановок знаков в строке. Их число для n знаков равно $n!$, а с учётом повторяющихся знаков – n^n . И не только потому что такой перебор вариантов слишком долог даже для компьютерного анализа. Всё дело в том, что это не комбинаторная задача, не статистическая, но в то же время – не строго детерминированная целью задача в связи с тем, что цель предельно абстрактна – снять противоречие – оставляет для рассмотрения все возможные способы поиска решения.

Итак, при выборе стандартной комбинации мы стремились приблизиться к таким визуальным образам, которые ассоциировались бы с целым рядом активных инструментов

мышления, таких как симметрия и антисимметрия, подобие, наложение, кривизна, выход из плоскости в объём, целостность единицы (узловая структура, представляющая простейшую модель нейрона), движение (присутствие волны), периодичность, цикличность, непрерывность и дискретность. Но при этом требовалось выполнить главное условие – обеспечение предельной простоты стандартной комбинации. Заметим здесь, что всегда приходится учитывать фактор искажения мышления, вызванный сильными эффектами навязанных стереотипов⁶.

Визуализация приёмов устранения технических противоречий

Рассмотрим (рис. 4) первый наиболее простой приём: «принцип дробления». В правой части рисунка будем изображать геометрический образ приёмов, а в левой – стандартную комбинацию для удобства сравнения.

⁶ Фишер Э. П. Растут ли волосы у покойника? Мифы современной науки / пер. с немецк. Л. В. Донской;

под ред. И. В. Опимах. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 256 с.

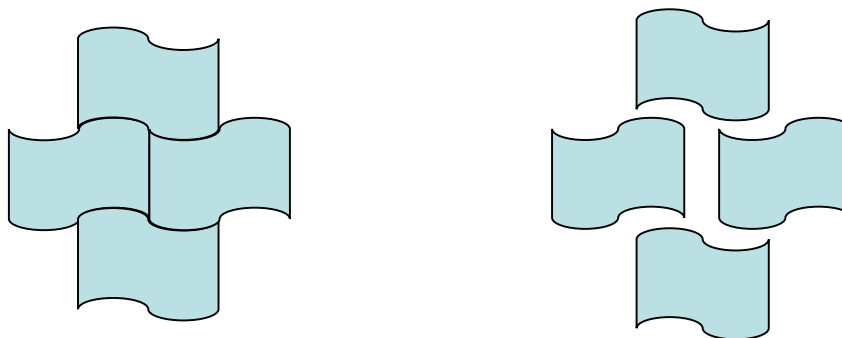


Рис. 4. Визуальный образ принципа дробления

Fig. 4. Visual image of the principle of crushing

Данная геометрия иллюстрирует дробление как распад целостного объекта вдоль искривлённых линий, принадлежащих объекту. Зрительно острее ощущается эффект случайного появления искривлённых трещин в структуре объекта, потому что мы начинаем ощущать нашу сопричастность объекту, погружение его в нашу реальность с присущими

ей качествами, перечисленными выше как инструментарий мышления.

Второй приём – «принцип вынесения» (рис. 5) – в визуализированном представлении опирается на хорошо ощущаемую целостность исходного состояния объекта по той же самой причине отсутствия ощущения противоположности между объектом и субъектом.

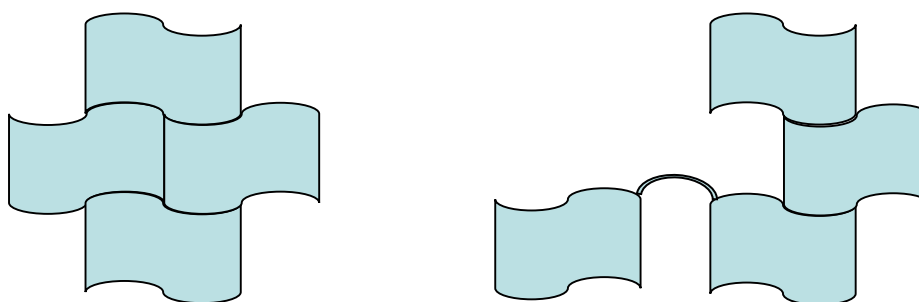


Рис. 5. Визуальный образ принципа вынесения

Fig. 5. Visual image of the principle of taking out

Примером применения этого изобретательского приёма может служить изготовление мальчиком Пи – в данном случае, это художественный образ⁷ – плота, соединённого тросом со шлюпкой, в которой находился также выживший после кораблекрушения 450-килограммовый бенгальский тигр. Часть

объекта шлюпки, а именно: вёсла, спасательные жилеты и трос были вынесены в океан в виде изготовленного мальчиком плота в первые, самые опасные дни после кораблекрушения. Другой пример: использование выносной дизельной электростанции для яхты в ночное время с целью защиты от шума двигателя.

⁷ Martel Y. Life of Pi. – Edinburgh: Canogate Books Ltd., 2003. – 319 p.

Третий приём: «принцип местного качества» (рис. 6). Примером применения этого приёма может служить холодное газодинамическое напыление порошкообразного материала на трущуюся поверхность вала или другой

части какой-либо трибосопряжённой пары с целью восстановления геометрического размера и усиления прочностных свойств в тонком приповерхностном слое детали (имеется патент, см.: [2]).

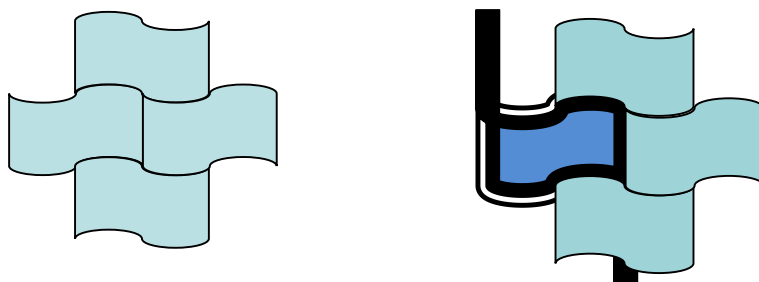


Рис. 6. Визуальный образ принципа местного качества

Fig. 6. Visual image of the principle of local quality

Четвёртый приём: «принцип асимметрии» (рис. 7). Этот крайне важный приём в своём визуальном представлении преобразует стандартную комбинацию до выраженного

асимметричного состояния, не нарушая при этом хорошо ощущаемой визуальной целостности объекта.

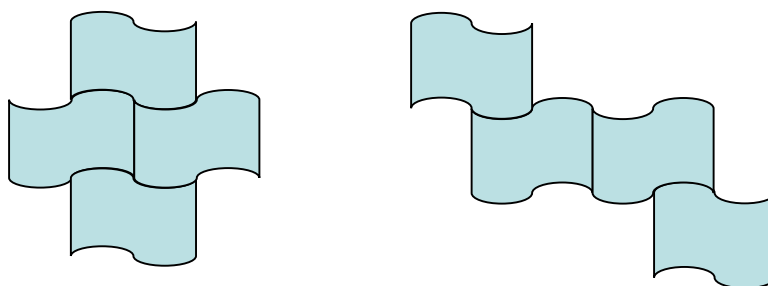


Рис. 7. Визуальный образ принципа асимметрии

Fig. 7. Visual image of the asymmetry principle

В данном приёме содержится одна из главных идей современной теории разрешения конфликтных ситуаций, коррелирующая с её методом «грозовых туч» [3]. Идея заключена в том, что асимметрия, до некоторой степени присутствующая в исходном объекте, усиливается до предела в решении. Кроме того, следует упомянуть о роли асимметрии в строении и работе мозга человека, а также в построении знаковых систем и существовании

информации [4]. Минимальная единица измерения количества информации – бит – это информация о смене одного из двух значений на другое. Следовательно, смысл единицы информации организуется асимметрией между двумя противоположными значениями: да – нет, 0 и 1, инь – ян, а не каким-то одним из двух абсолютных значений. Эти значения не важны, важна асимметрия между ними. Заметим здесь, что термин асимметрия означает

антисимметричность, в отличие от несимметричности (неполной симметрии).

О пятом из приведённых здесь приёмов более чем о других можно сказать, что новое есть хорошо забытое старое. Пятый приём: «принцип объединения» (рис. 8). Смысл его заключён в соединении однородных объектов. Характерное применение – давно используемый в истории цивилизаций веник – инструмент для уборки мусора, связанный из многих прутьев или веток. По отдельности они ломаются даже от малого усилия, но собранные в

единый пучок необычайно прочны. При описании этого приёма обычно не указывают одно важное условие прочности веника (кстати, ясно видимое из геометрического образа). При нагрузке на изгиб набор прутьев позволяет им слегка переместиться индивидуально и, тем самым, снять избыточные локальные напряжения. В то же время один, но толстый прут необратимо деформируется при нагрузке гораздо раньше. В истории человеческой деятельности наверняка существуют не менее яркие примеры успешного применения и других описанных здесь приёмов.

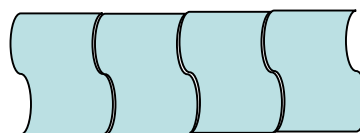
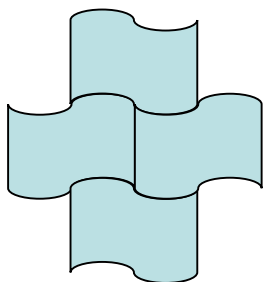


Рис. 8. Визуальный образ принципа объединения

Fig. 8. Visual image of the principle of association

Укажем ещё лишь на один очень показательный пример. Шестой приём: «принцип сфероидальности» (рис. 9). Смысл приёма заключается в использовании перехода от плоских поверхностей к сферическим, от частей, выполненных в виде параллелепипеда или куба к шаровым конструкциям.

Характерный пример – шариковая ручка для письма. Революционная идея заключается в использовании движущегося шарика – всего одной детали, изменившей (упростившей технику письма), кажется саму письменную культуру. Заметим, что на рисунке 9 получаются не сферические, а цилиндрические поверхности.

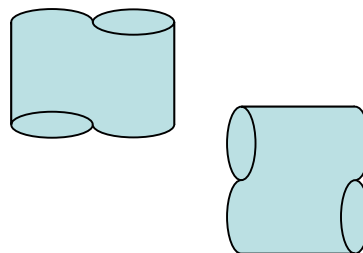
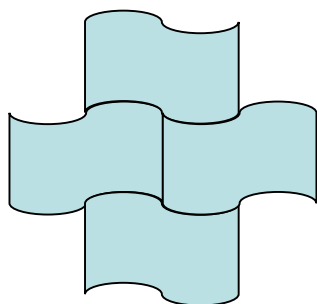


Рис. 9. Визуальный образ принципа сфероидальности

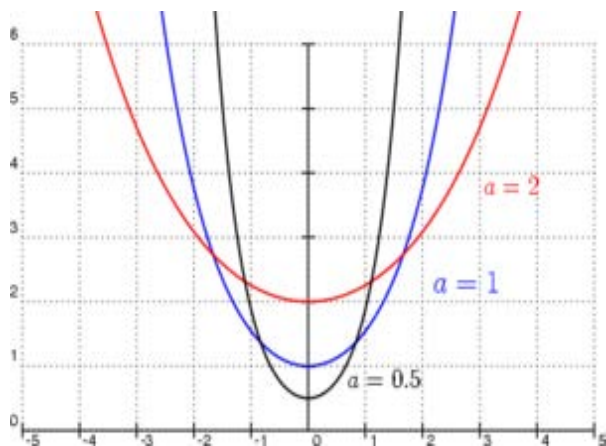
Fig. 9. Visual image of the principle of spheroidality

Но смысл визуализации приёмов состоит в том, чтобы получить все методы из исходной стандартной комбинации и подталкивать мысль в нужном направлении с помощью исходного минимально сложного набора геометрических символов.

Примеры использования ключевых геометрических образов для решения сложных задач

Пример 1: А. Гауди и *цепная линия*. Цепная линия образуется буквально с помощью закрепления цепи на двух опорах (рис. 10,

справа). Отличие её от обычной нити или верёвки в том, что тяжёлые звенья цепи в поле силы тяжести занимают положение с минимумом потенциальной энергии. График цепной линии (рис. 10, слева) – косинус гиперболический – хотя и похож на обычную параболу, оказывается намного богаче в математическом смысле: он может быть разложен в *бесконечный ряд*, в котором параболический (квадратичный) член является только элементом «богатства» наряду с другими чётными степенями разложения.



$$y = \frac{a}{2}(e^{x/a} + e^{-x/a}) = a \operatorname{ch} \frac{x}{a}$$

Рис. 10. Цепная линия и её математическое представление

Fig. 10. Chain line and its mathematical representation

Архитектор А. Гауди, творивший в Барселоне, ставил перед собой сложную задачу отразить божественное величие посредством геометрической формы сводов храма. Он не знал математики, но понимал чутьём художника богатство цепной линии (в отличие от

круга или параболы), скрытый в ней бесконечный образ. В результате он получил необходимые формы сводов храма с помощью подвешивания сотен грузиков – песка в мешочках – на модели опор храма, а затем зеркально отразил полученные цепные поверхности, получив желаемые формы куполов храма (рис. 11).



Рис. 11. Грузики Гауди в храме Барселоны [12]

Fig. 11. Gaudi's weights in a temple of Barcelona [12]

Пример 2: важный и красивый результат в незавершённой до сих пор теории *турбулентности* получен академиком М. Д. Миллиончиковым – посмертная публикация [5]. Турбулентное течение жидкостей и газов – наиболее естественное состояние их движения – устанавливается вблизи твёрдых стенок, в свободных струях и в трубах после достижения потоком достаточно больших скоростей. При малых скоростях существует слоистое, или ламинарное, течение, которое имеет точное математическое описание. Про турбулентность можно определённо сказать лишь то, что при достаточно большой безразмерной комбинации параметров скорости потока, размера области, плотности и вязкости среды устанавливается статистически упорядоченный режим течения, который можно отнести к стандартному турбулентному режиму. Радикальное его отличие от ламинарного режима в том, что внутренний масштаб движения изменяется в пространстве, носители движения – не молекулы, а вихри, увеличивающиеся на несколько порядков скорости переноса импульса поперёк направления потока.

Результат состоит в точном описании турбулентного пристенного течения в виде хотя и полученного намного ранее Л. Прандтлем логарифмического закона распределения скоростей, но без введения технических гипотез: о турбулентной вязкости, внутреннем масштабе, а также без привлечения эмпирической зависимости этих величин от динамической скорости и расстояния от стенки [5]. При этом делается одно естественное (из самых общих физических принципов) предположение: статистически упорядоченное движение, устанавливающееся при развитой турбулентности, характеризуется выгодным распределением, устанавливающим экстремум некоторого функционала, при котором обеспечивается минимум кинетической энергии, соответствующей заданному расходу жидкости, отнесённому к сопротивлению течения.

Самое важное для нашего рассмотрения здесь то, что идея вывода этого результата исходно опирается на следующую геометрическую интерпретацию [5]. Из закона Ньютона для вязкого трения следует известный интеграл уравнения, описывающий ламинарное течение. Это решение можно интерпретировать

как суперпозицию окружностей, катящихся по стенке со скоростью качения (скорость центра окружности), разной в каждой точке удаления

от стенки и в точности равной скорости потока в этой точке (рис. 12).

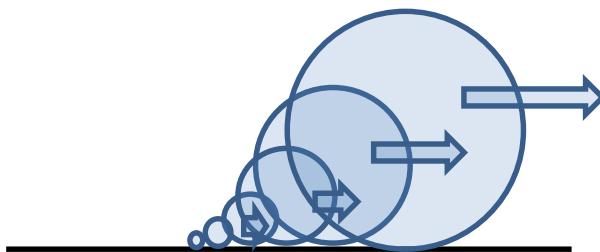


Рис. 12. Ламинарное течение: окружности катятся по стенке с разными скоростями качения

Fig. 12. Laminar flow: the circles roll along the wall with different rolling speeds

Предположение М. Д. Миллионщикова состоит в том, что турбулентное течение рассматривается так же, как и ламинарное течение в виде суперпозиции катящихся по стенке окружностей. При этом уже нельзя как при ламинарном течении считать, что скорость качения окружностей равна скорости течения в

данной точке: она будет некоторой более общей функцией скорости течения. В результате решения вариационной задачи эта скорость оказывается одинаковой для всех окружностей (рис. 13).

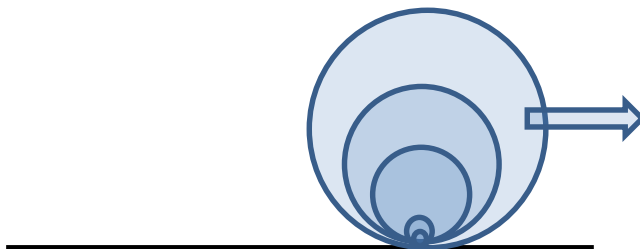


Рис. 13. Турбулентное течение: окружности катятся по стенке с одинаковой скоростью качения

Fig. 13. Turbulent flow: circles roll along the wall with equal rolling speed

Из геометрии окружностей и кинематики их движения видно, что окружности малого диаметра должны вращаться с весьма большими угловыми скоростями, чтобы обеспечить такую же скорость качения (скорость центра окружности) как и у больших по диаметру окружностей. В отличие от случая ламинарного течения, когда движение окружностей относительно слабо зависит друг от друга

(опосредовано только молекулярным взаимодействием) в турбулентном течении все эти окружности, как бы жёстко связанные между собой, подобно зубчатой передаче передают движение от одной к другой. Поэтому передача импульса от потока с масштабом области (равным, например, толщине пограничного слоя на стенке) к движениям на внутренних масштабах происходит несравненно более эффективно.



Визуализация геометрическими образами двух режимов течения жидкости важна также для эффективного применения гидродинамической аналогии в других областях, в частности, в моделировании потоков информации в социальных сетях [7]. Наши данные показывают также, что и процесс захвата социальной сети ложной информацией удобно иллюстрировать динамическим графом.

Заключение

Совокупный состав эвристических методов ТРИЗ, подхваченных и развиваемых в мире, нуждается в компактном представлении вследствие возрастающей численности методов (достигающей к настоящему времени несколько сотен позиций). Специфика получения изобретательского опыта человеком привела к тому, что наиболее эффективными когнитивными инструментами практики стали геометрические образы и формы. В статье предложена методика конструирования визуальных образов для известных из ТРИЗ приёмов, базирующаяся на простейшем геометрическом объекте минимальной сложности, но обладающем необходимыми качествами асимметрии и кривизны. Имеются основания полагать, что в формуле «чтобы представить, достаточно увидеть, а, чтобы понять, нужно построить модель»⁸ нами недооценивалась

первая её часть [6]. Чтобы увидеть, нужно сообразить – *соотнести геометрические образы*. И оказывается соотнесение этих подходящих геометрических образов – более фундаментальная задача, чем построение модели. Это доказывают примеры решения сложных задач с помощью геометрического ключа. Геометрические образы ближе к природе, и именно с их обнаружения начинается процесс моделирования, заканчивающийся пониманием. Само по себе использование геометрических образов очень часто сопутствует изобретениям и даже открытиям. Так об этом пишет автор ТРИЗ Г. С. Альтшуллер:

«Каждое десятое изобретение сделано с применением геометрических структур, геометрических свойств, геометрических эффектов. Это не случайно. Геометрические решения крайне выгодны. Они достигаются простым изменением формы, не требуют дополнительного расхода энергии, надёжны. Отсюда массовое использование «геометрических форм» в изобретательстве: работают шарики и спирали, гиперболоиды и параболоиды, гофры и щётки...» [2]

Действительно, там, где удаётся представить геометрическими образами сложное явление, мы обнаруживаем существо явления, т. е. такое раскодирование закономерностей природы, которое открывает путь к появлению простой модели явления или процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрарова З. Ф., Салихов Г. Г.** Визуализация как способ развития научного знания // Евразийский юридический журнал. – 2016. – № 4 (95). – С. 364–367.
2. **Альтшуллер Г. С.** Найти идею: Введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач. – М.: Альпина Паблишер, 2008. – 402 с.
3. **Шрагенхайм Э., Детмер У.** Производство с невероятной скоростью: Улучшение финансовых результатов предприятия: пер. с англ. – М.: Альпина Паблишер, 2009. – 332 с.

⁸ Трофимов В. М. Мир как информационные системы: открытая лекция на сайте ФГБОУ ВПО «КубГТУ»

[Электронный ресурс]. – URL: <http://video.kubstu.ru/r-157> (дата обращения: 19.04.2017).



4. **Иванов В. В.** Чёт и нечёт: Асимметрия мозга и знаковых систем. – М.: Сов. радио, 1978. – 184 с.
5. **Миллионщиков М. Д.** Некоторые проблемы турбулентности и турбулентного теплообмена // Турбулентные течения. – М.: Наука, 1974. – С. 5–18. <http://www.libex.ru/detail/book761190.html>
6. **Трофимов В. М.** Турбулентные течения с ориентационными свойствами: монография. – Новосибирск: НГПУ, 2013. – 154 с.
7. **Трофимов В. М., Видовский Л. А., Дьяченко Р. А.** Модель информационного воздействия в социальных сетях // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 110. – С. 1788–1801.
8. **Цветков В. С.** Когнитивная семиотика и информационное моделирование // Перспективы науки и образования. – 2016. – № 6 (24). – С. 17–22.
9. **Аукас V.** An application regarding the availability of mind maps in visual art education based on active learning method // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2015. – Vol. 174. – P. 1859–1866. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.848>
10. **Boden M. A.** Mind as Machine: A History of Cognitive Science. – Oxford: Clarendon Press, 2006. – 1712 p. <https://books.google.ru/books?id=QURavgAACAAJ&dq=isbn:0199241449&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwj6o5OwzsvUAhXNblAKHZhfD7cQ6AEILjAB>
11. **Borgianni Y., Matt D. T.** Ideality in Axiomatic Design and beyond // Procedia CIRP. – 2016. – Vol. 53. – P. 95–100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.029>
12. **Conversano E., Francaviglia M., Lorenzi M., Tedeschini L.** Persistence of form in art and architecture: catenaries, helicoids and sinusoids // APLIMAT – Journal of Applied Mathematics. – 2011. – Vol. 4, № 4. – P. 101–112. URL: http://www.aplimat.com/files/Journal_volume_4/Number_4.pdf
13. **Hasegawa H., Shibasaki S., Ito Y.** Shape and Layout Understanding Method Using Brain Machine Interface for Idea Creation Support System // Procedia Computer Science. – 2015. – Vol. 60. – P. 1205–1214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.183>
14. **Koukourikos P., Papadopoulos K.** Development of cognitive maps by individuals with Blindness using a multisensory application // Procedia Computer Science. – 2015. – Vol. 67. – P. 213–222. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.265>
15. **Labuda L.** Possibilities of Applying TRIZ Methodology Elements (the 40 Inventive Principles) in the Process of Architectural Design // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 131. – P. 476–499. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.443>
16. **Le Roux I.** New large class pedagogy: developing students' whole brain thinking skills // Procedia Social and Behavioral Sciences. – 2011. – Vol. 15. – P. 426–435. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.03.116>
17. **Livotov P.** Measuring motivation and innovation skills in advanced course in new product development and inventive problem solving with TRIZ for mechanical engineering students // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 131. – P. 767–775. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.374>
18. **Livotov P.** Web-based asynchronous distance education in new product development and inventive problem solving for industrial // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 131. – P. 123–139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.361>
19. **Münzberg C., Hammer J., Brem A., Lindemann U.** Crisis Situations in Engineering Product Development: A TRIZ Based Approach // Procedia CIRP. – 2016. – Vol. 39. – P. 144–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.180>



20. **Tessaria R. K., De Carvalho M. A.** Compilation of heuristics for inventive problem solving // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 131. – P. 50–70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.347>
21. **Umezun N., Takahashi E.** Visualizing color term differences based on images from the web // *Journal of Computational Design and Engineering*. – 2017. – Vol. 4, Issue 1. – P. 37–45. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcde.2016.08.002>
22. **Van Egmond K., De Vries B.** Sustainability: The search for the integral worldview // *Futures*. – 2011. – Vol. 43, Issue 8. – P. 853–867. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2011.05.027>
23. **Van Cattenburch I. H. C.** The globe sustained: Shakespeare’s allegory for sustainable development // *Futures*. – 2017. – Vol. 87. – P. 24–36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.01.002>
24. **Walter L., Isenmann R., Moehrle M. G.** Bionics in patents – semantic-based analysis for the exploitation of bionic principles in patents // *Procedia Engineering*. – 2011. – Vol. 9. – P. 620–632. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.03.147>
25. **Yau Shing-Tung, Nadis S.** *The Shape of Inner Space: String Theory and the Geometry of the Universe’s Hidden Dimensions*. – Mixed Publishers, 2010. – 400 p. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/d5f3/4ab24a7825e8693cdbfce736dadbbedde1166.pdf>



DOI: [10.15293/2226-3365.1704.10](https://doi.org/10.15293/2226-3365.1704.10)

Victor Maratovich Trofimov, Doctor of Physics and Mathematical Sciences, Professor, Informational Systems and Computer Science, Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation.
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0691-6277>
E-mail: vtrofimov9@yahoo.com

About the mathematical nature of acumen

Abstract

Introduction. *The use of geometry in the description of nature, beginning with the Platonic solids, has gone a long way up to modern string theory. It seems, it is no accident that geometry has always been a reliable tool for modeling complex phenomena. The aim of the article is to find such universal geometric images, which would allow to visually illustrate the well-known techniques of the theory of solving inventive problems.*

Materials and Methods. *Based on the principle of minimum complexity, a combination of four identical figures is obtained as the basis for the method of creating geometric images. And by way of an elementary figure is chosen such a simple geometric object which contains asymmetry and curvature as a minimum of requirements for it as an elementary object. This choice of combination allowed to cover practically all methods of solving problems. The article provides examples the following techniques: the principles of subdivision, asymmetry, unification, taking, spheroidality, and local quality.*

Results. *Heuristic methods of the Theory of inventive problem solving (TRIZ), being supplemented and developed around the world, need a compact representation. The inventive experience of human beings has led to the fact that geometric shapes have become the most effective cognitive tools of practice. The article proposes a methodology of constructing visual images for TRIZ methods, which is illustrated by several examples. To assess the power of geometric images in solving complex problems in various areas of creative activity, examples are given from the field of mechanics and architecture. An example of the use of a chain line for the design of temple vaults is based on the same fundamental principle of a minimum of the functional (potential energy) as an effective use of the same principle with respect to kinetic energy in solving the problem of describing a turbulent flow where the geometrically formed images are organized circles.*

Conclusions. *It is concluded that the correlation of appropriate geometric images at the very beginning of the scientific investigation seems to be underestimated when constructing effective mathematical models.*

Keywords

Modeling; TRIZ methods; Geometric images; Technical creativity; Visualization; Turbulence; Signs; Cognitive semiotics.

REFERENCES

1. Abrarova Z. F., Salikhov G. G. Visualization as method of scientific knowledge development. *Eurasian Juridical Journal*, 2016, no. 4 (95), pp. 364–367. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26132506>
2. Altshuller G. R. *To find Idea: Introduction in TRIZ – Theory of Solution of Invention Tasks*. Moscow, Alpina Publisher Publ., 2007, 400 p. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22330007>



3. Schragenheim E., Dettmer W. *Manufacturing at Wart Speed. Optimizing Supply Chain Financial Performance*. Moscow, Alpina Publisher Publ., 2001, 330 p. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22330062>
4. Ivanov V. V. *Odd and Even. Asymmetry of the brain and sign systems*. Moscow, Soviet Radio Publ., 1978, 184 p. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25703357>
5. Millionshchikov M. D. Some problems of turbulence and turbulent heat and mass transfer. *Turbulent flows*. Moscow, Nauka Publ., 1974, pp. 5–18 (In Russian) URL: <http://www.libex.ru/detail/book761190.html>
6. Trofimov V. M. *Turbulent flows with orientation properties*. Monograph. Novosibirsk, Novosibirsk State Pedagogical University Publ., 2013, 154 p. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21517081>
7. Trofimov V. M., Vidovskiy L. A., Dyachenko R. A. Model of information exposure in social networks. *Scientific Journal of KubSAU*, 2015, no. 110, pp. 1788–1801. (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24114656>
8. Tsvetkov V. S. Cognitive semiotics and information modeling. *Perspectives of Science and Education*. 2016, no. 6 (24), pp. 17–22 (In Russian) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28418692>
9. Aykac V. An application regarding the availability of mind maps in visual art education based on active learning method. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2015, vol. 174, pp. 1859–1866. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.848>
10. Boden M. A. *Mind as Machine: A History of Cognitive Science*. Oxford, Clarendon Press Publ., 2006, 1618 p. URL: <https://books.google.ru/books?id=QURavgAACAAJ&dq=isbn:0199241449&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwj6o5OwzsvUAhXNblAKHZhfD7cQ6AEILjAB>
11. Borgianni Y., Matt D. T. Ideality in axiomatic design and beyond. *Procedia CIRP*, 2016, vol. 53, pp. 95–100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.029>
12. Conversano E., Francaviglia M., Lorenzi M., Tedeschini L. Persistence of form in art and architecture: catenaries, helicoids and sinusoids. *APLIMAT – Journal of Applied Mathematics*, 2011, vol. 4, no. 4, pp. 101–112. URL: http://www.aplimat.com/files/Journal_volume_4/Number_4.pdf
13. Hasegawa H., Shibasaki S., Ito Y. Shape and layout understanding method using brain machine interface for idea creation support system. *Procedia Computer Science*, 2015, vol. 60, pp. 1205–1214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.183>
14. Koukourikos P., Papadopoulos K. Development of cognitive maps by individuals with Blindness using a multisensory application. *Procedia Computer Science*, 2015, vol. 67, pp. 213–222. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.265>
15. Labuda L. Possibilities of applying TRIZ methodology elements (the 40 Inventive Principles) in the Process of Architectural Design. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 131, pp. 476–499. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.443>
16. Le Roux I. New large class pedagogy: developing students' whole brain thinking skills. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2011, vol. 15, pp. 426–435. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.03.116>
17. Livotov P. Measuring motivation and innovation skills in advanced course in new product development and inventive problem solving with TRIZ for mechanical engineering students. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 131, pp. 767–775. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.374>



18. Livotov P. Web-based asynchronous distance education in new product development and inventive problem solving for industrial. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 131, pp. 123–139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.361>
19. Münzberg C., Hammer J., Brem A., Lindemann U. Crisis situations in engineering product development: A TRIZ based approach. *Procedia CIRP*, 2016, vol. 39, pp. 144–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.180>
20. Tessaria R. K., De Carvalho M. A. Compilation of heuristics for inventive problem solving. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 131, pp. 50–70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.347>
21. Umezun N., Takahashi E. Visualizing color term differences based on images from the web. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2017, vol. 4, issue 1, pp. 37–45. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcde.2016.08.002>
22. Van Egmond K., De Vries B. Sustainability: The search for the integral worldview. *Futures*, 2011, vol. 43, issue 8, pp. 853–867. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2011.05.027>
23. Van Cattenburch I. H. C. The globe sustained: Shakespeare's allegory for sustainable development. *Futures*, 2017, vol. 87, pp. 24–36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.01.002>
24. Walter L., Isenmann R., Moehrle M. G. Bionics in patents – semantic-based analysis for the exploitation of bionic principles in patents. *Procedia Engineering*, 2011, vol. 9, pp. 620–632. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.03.147>
25. Yau Shing-Tung, Nadis S. *The shape of inner space: String theory and the geometry of the universe's hidden dimensions*. Mixed Publishers, 2010, 400 p. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/d5f3/4ab24a7825e8693cdbfce736ddbbedde1166.pdf>

Submitted: 03 May 2017

Accepted: 03 July 2017

Published: 31 August 2017



This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. (CC BY 4.0).