198.

44. *Цветков В. Я.* Пространственные знания // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 7. С. 43–47.

45. *Омельченко А. С.* Геоданные как инновационный ресурс // Качество, инновации, образование. 2006. № 1. С. 12–14.

46. *Савиных В. П., Цветков В. Я.* Геоданные как системный информационный ресурс // Вестник Российской академии наук. 2014. Т. 84. № 9. С. 826–829.

47. *Дышленко С. Г.* Анализ и разработка характеристик качества геоданных // Перспективы науки и образования. 2016. № 2. С. 23–27.

48. *Куджж С. А.* Организация геоданных // Перспективы науки и образования. 2014. № 1. С. 61–65.

The ontological approach geoinformatics

Igor Naumovich Rozenberg, Professor, Doctor of Technical Sciences. Deputy general director of the Research Institute of automated systems in railway transport JSC NIIAS – HEAD OFFICE

The article reveals the contents of the ontological approach in Geoinformatics as a tool to describe knowledge. The article covers the basics of interpretation of information to gain knowledge. This article describes the contents of the three groups of interpretation. The two groups are a priori. One group is a posteriori. The article reveals the contents of ontology as a comprehensive, integrated description. The article analyzes the definition of ontologies. Article formulates the concept of ontology in geoinformatics. The article analyzes the subject field of geoinformatics. The article introduces a structural model of domain ontology geoinformatics. The article proves that the ontology is a means of interdisciplinary transfer of knowledge between different subject areas.

Ключевые слова: ontology, knowledge, ontological approach, interpretation of information, axiomatic approach, productive approach, empirical approach, geoinformatics, subject area, subject field of geoinformatics, information construction, conceptualization, specification.

УДК 001.6: 001.51

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ТРИНИТАРНЫЙ АНАЛИЗ

Виктор Яковлевич Цветков*, проф., д-р техн. наук,*
лауреат премии Президента РФ, лауреат премии Правительства РФ,
«Заслуженный деятель науки и образования», «Почетный работник науки и техники»,
«Почетный работник высшего профессионального образования»,
«Отличник геодезической службы»,
академик: Российской академии космонавтики им. К. Э. Циолковского (РАКЦ), Российской академии естествознания (РАЕ), Российской академии информатизации образования (РАО), Международной академии наук Евразии (IEAS),
советник ректората,
e-mail: cvj2@mail.ru,
Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики (МГТУ МИРЭА),
https://www.mirea.ru

DOI: 10.21777/2312-5500-2016-5-95-102

Статья описывает пространственный тринитарный анализ. Показано, что основой тринитарного анализа является тринитарная система. Статья описывает два направления тринитарного анализа: на основе разбиения сложных систем на тринитарные и создания *сложных систем на основе тринитарных. Статья показывает, что тринитарная система более общее понятие в сравнении с треугольником. Показано, что тринитарные системы являются пространственным симплексом. Статья показывает, что тринитарная система является нелинейной и поэтому не всегда сводится к линейным диадным системам. Выведены два свойства тринитарных систем.*

Ключевые слова: прикладная геоинформатика; сложная система; тринитарная система; пространственный анализ; пространственный тринитарный анализ; триада; диада; разбиение Делоне.

Введение

Тринитарную систему применяют для описания информационных ситуаций, которые не укладываются в бинарные модели. В технических науках термин «тринитарные системы» часто заменяют термином «триангуляционные системы». Это понятие более узкое, поскольку подразумевает треугольную фигуру и наличие одной связи (стороны) между вершинами треугольника. Однако оно обусловлено тем, что термин «тринитарные системы» достаточно давно используется в теологии [1–3] и философии в несколько ином смысле.

В технике и математике треугольник зарекомендовал себя жесткой (недеформируемой) и устойчивой фигурой. Соответственно, многие измерения в геодезии используют треногу для установки приборов, а сами приборы устанавливают на треугольное основание с уровнем. Треугольник обеспечивает устойчивость измерений и вычислений. В геодезии и фотограмметрии решают «прямые» и «обратные» засечки для определения пространственных координат. Для определения координат точек на больших расстояниях применяют фототриангуляцию [4]. Геодезические высокоточные сети строят в виде треугольников. При строительстве сооружений для обеспечения жесткости конструкции укрепляют каркас треугольниками.

Тринитарные или триангуляционные системы широко применяют в измерениях и методах обработки измерений. Эти методы обеспечивают быстродействие [5, 6] вычислений и устойчивость результатов. Триангуляционные методы измерений применяют для высокоточных измерений гладких поверхностей [7, 8].

Следует напомнить, что стереозрение человека использует тринитарный механизм. Эту аналогию используют при создании и развитии систем технического зрения [9, 10]. Треугольная пирамида является символом иерархии. Треугольная иерархия служит основой многих схем типа пирамиды потребностей Маслоу. Эта модель используется также при кодировании. В работе [11] описан метод кодирования и декодирования нестационарных сигналов, основанный на пирамидально-рекурсивном разбиении исходного изображения. Сжатие выполняется путем поиска опорных точек, а восстановление – применением триангуляции.


В.Я. Цветков

Математически точные триангуляционные методы используются в системах контроля физических поверхностей, например, таких сложных по форме и с требованием высокой точности к поверхности изделий, как турбинные лопатки [12]. Триангуляционные системы применяют в акустике для определения координат источника звука [13]. Данный краткий перечень направлений применения тринитарных систем говорит о необходимости исследования и развития этого подхода.

Тринитарные системы. Тринитарные системы [14–16] являются простейшими системами, которые можно отнести к сложным системам [17]. С другой стороны, эти системы служат основой построения более сложных систем. Например, треугольник как система служит основой построения триангуляционной сети (системы разных треугольников). Для сравнения можно рассмотреть диадную систему. В общем виде диадная система имеет вид, представленный на рис. 1.

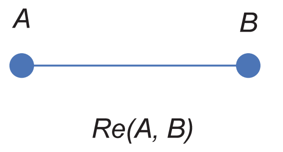

Рис. 1. Бинарная пара (диада)

Диада представляет собой две сущности A, B, между которыми существует одно отношение, или связь, $Re(A, B)$ (рис. 1). Совокупность моделей типа рис. 1 обеспечивает линейное развертывание и линейную интерпретацию. Модель на рис. 1 является линейной, последовательное соединение таких моделей создает новую линейную модель.

На практике существуют более сложные – тринитарные отношения, которые часто разбивают на бинарные отношения, стремясь к простоте. Тринитарная система – это система, которая имеет три сущности, между которыми существует не менее трех разных связей или отношений. Пример тринитарной системы приведен на рис. 2.

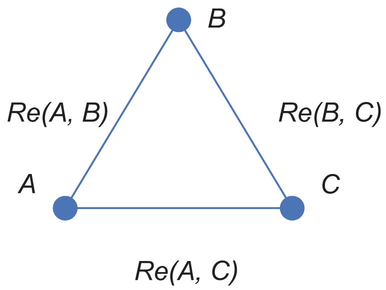

Рис. 2. Абстрактная тринитарная система

Тринитарная система (рис. 2) представляет собой три сущности A, B, C, между которыми существует три отношения, или три связи, $Re(A, B)$, $Re(B, C)$, $Re(A, C)$. Сущности задают вершины тринитарной системы, связи задают линии, связывающие вершины.

Модель на рис. 2 является нелинейной. Она создает возможность обратной связи и дает возможность организовать цикл.

Если в модель тринитарной системы (рис. 2) ввести отношения, то получатся два варианта системы отношений. Такая ситуация имеет место в органолептическом анализе. Отношения при таком анализе могут быть следующими: «вкуснее», «крепче», «лучше», «хуже», «качественнее», «предпочтительней», «оптимальней». Они возникают при экспертной оценке, когда количественных характеристик не хватает для получения количественного сравнения.

Модель на рис. 2 может иметь разные представления в зависимости от вида отношений *Re.* На рис. 3 приведены два варианта тринитарной системы с разными отношениями.

Тринитарную систему на рис. 3a называют треугольником согласования. Она сохраняет правило переноса транзитивности. Например, стрелка показывает отношение больше. Тогда для $A = 10$; $B = 5$; $C = 2$ треугольник на рис. 3a выражает правило

$$if\ A > B\ and\ B > C\ then\ A > C.$$

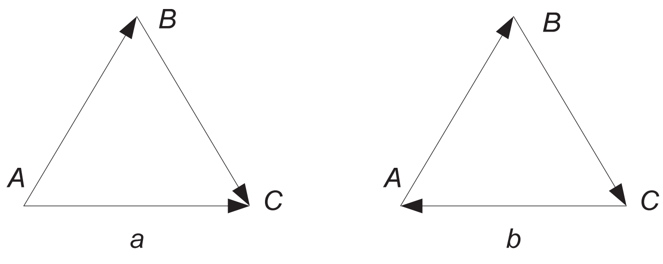

Рис. 3. Тринитарные системы «согласования» (a) и «противоречия» (b)

Это правило выполняется в алгебре и геометрии. Оно соответствует правилу ранжирования иерархий и правилу векторной суммы. В порядковой шкале эта информационная ситуация соответствует согласованной шкале иерархии, в которой все объекты упорядочены и имеют разные ранги. Такая информационная ситуация описывает тринитарное правило

$$A \to B \to C.$$

Это правило разбивается на три бинарных правила в предположении выполнения условия транзитивности

$$Если\ (A \to B;\ B \to C),\ то\ A \to C. \quad (1)$$

Тринитарную систему на рис. 3b называют треугольником противоречия. Она нарушает правило переноса транзитивности. Эта ситуация часто встречается в спортивных соревнованиях. Например, команда A побеждает команду B. Команда B побеждает команду *C*. Но при этом команда *C* побеждает команду *A*. В порядковой шкале эта информационная ситуация соответствует несогласованной шкале иерархии, в которой некоторые объекты имеют одинаковые ранги. Такая задача решается с применением нетранзитивной теории предпочтений [18].

Можно констатировать, что линейная (диадная) интерпретация типа рис. 1 обеспечивает линейную однозначную интерпретацию событий и процессов [19]. Триадная интерпретация событий (рис. 2) является нелинейной и множественной. Она может описывать принципиально разные ситуации (рис. 3a, рис. 3b). В то же время эта модель описывает ситуации, которые линейной моделью не могут быть описаны. Следовательно, при описании нелинейных ситуаций, линейная модель неадекватна, а применима тринитарная нелинейная модель.

Пространственная тринитарная система. Пространственный анализ применяют во многих областях от археологии до экологии [20, 21]. Пространственный анализ применяют в науках о Земле [22, 23] и в космических исследованиях [25–27]. Наиболее широкое применение пространственный анализ как пространственный тринитарный анализ находит в ГИС [28]. Пространственный тринитарный анализ основан на применении тринитарных систем в пространстве и построении на их основе моделей сложных систем. Пространственный тринитарный анализ основан также на разбиении сложных пространственных систем на симплексы и анализ этих систем на основе разбиения и свойств симплексов. В обоих случаях основой анализа является пространственная тринитарная система. Это приводит к необходимости исследования пространственной тринитарной системы. Пространственная тринитарная система служит основой анализа и моделирования.

Если рассматривать рис. 2 как пространственную тринитарную систему, то она также представляет собой три сущности (но уже пространственные) *A*, *B*, *C*, между которыми существует три связи *Re*(*A*, *B*), *Re*(*B*, *C*), *Re*(*A*, *C*). Сущности задают вершины тринитарной системы. Особенность такой системы в том, что чаще всего сущностям пространственной тринитарной системы соответствуют точки в трехмерном пространстве. Каждая точка определяется пространственными координатами. Связям пространственной тринитарной системы соответствуют линии, связывающие вершины. Причем тип линий может быть разным и зависит от поверхности, на которой лежат вершины, или типа пространства (криволинейное или нет).

Примером пространственной тринитарной системы может служить трехмерный объект (куб, сфера, конус) в пространстве трех равных категорий (координат). Это триадное, или тринитарное представление. Такое представление может быть сведено к трем диадным моделям (три плоские проекции). Для выпуклых объектов легко восстановить трехмерный объект по его трем проекциям. Однако если объект не выпуклый и имеет сложную форму, для его восстановления трех проекций недостаточно. Необходима дополнительная информация. Это служит примером эмерджентности – несводимости свойства сложной системы к свойствам ее частей

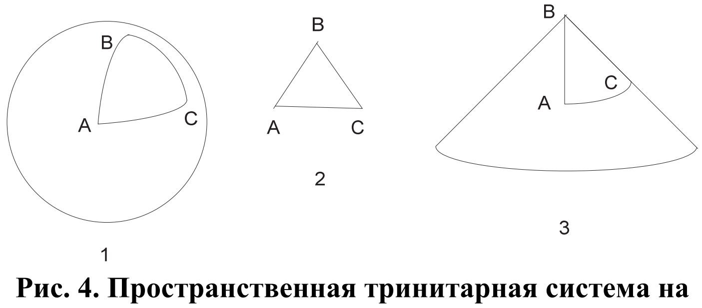

Рис. 4. Пространственная тринитарная система на разных поверхностях

На рис. 4 показаны три пространственные тринитарные системы на разных геометрических поверхностях. Они выбраны таким образом, что вершины треугольников в пространстве не изменяются и сохраняют свои пространственные координаты для всех трех случаев.

На рис. 4 для всех вариантов изображен (условно равносторонний) треугольник, вершины которого имеют одинаковые пространственные координаты, но этот треугольник лежит на разных поверхностях.

Вершины треугольника ΔABC на сфере (рис. 4.1) связаны тремя дугами. Эти дуги называют геодезическими линиями, поскольку они определяют кратчайшее расстояние на криволинейной поверхности (в этом случае сфере). Сумма внутренних углов в треугольнике на сфере может находиться в широких пределах: от π до 3π.

Через любые три точки в пространстве, не лежащие на одной прямой, можно провести плоскость. Если провести через эти три точки A, B, C плоскость (рис. 4.2), то она отсечет поверхность сферы. Треугольник ΔABC станет треугольником на плоскости, отсекающей поверхность сферы. Вершины треугольника ΔABC на плоскости свяжут прямые. Сумма внутренних углов в любом треугольнике на плоскости всегда будет равна π, не больше и не меньше.

Треугольник ΔABC можно перенести на другую поверхность. При выборе конической криволинейной поверхности треугольник можно расположить на этой поверхности так, что его вершина совпадет с вершиной конуса, а две стороны будут лежать на образующих конуса. В этом случае две стороны треугольника будут связаны прямыми линиями, а одна сторона будет связана дугой (рис. 4.3). Еще раз подчеркнем, что вершины треугольника в пространстве координаты во всех трех случаях сохраняют, но форма поверхности задает разные связи между вершинами, которые соответствуют сущностям тринитарной системы.

Треугольник ΔABC можно перенести также на цилиндрическую поверхность. Эти переносы со сферы (эллипсоида) на плоскость, конус или цилиндр применяют в преобразованиях картографических проекций. То есть тринитарная система служит посредником в картографических преобразованиях.

Пространственный анализ. На принципиально разных поверхностях при одном и том же расположении вершин тринитарной системы они будут связаны разными типами линий (кривых и прямых). Это обстоятельство задает первое свойство тринитарной системы:

Свойство 1. Между сущностями тринитарной системы можно построить множество связей.

Следует обратить внимание на то, что пространственные координаты вершин A, B, C на рис. 4 не изменяются по отношению к внешней системе координат, в которой находятся сфера, плоскость и конус. Однако при неизменности вершин имеют место разные виды связей. Это описано первым свойством тринитарной системы. Но рис. 4 дает основание сделать и другое заключение. Хотя поверхности на рис. 4 для трех случаев разные, точки вершин A, B, C – неизменные. Отсюда вытекает второе свойство тринитарной системы.

Свойство 2. Тринитарная система может связывать между собой разные поверхности пространственных объектов и в принципе разные многомерные объекты.

Для нашего примера первый случай (разные пространства) (рис. 4.1, рис. 4.2) – это криволинейное пространство, в котором кратчайшее расстояние – геодезическая линия, и линейное пространство, в котором кратчайшее расстояние – прямая. Во втором случае (рис. 4.1, рис. 4.3) пространственные объекты – это сфера и конус. Тринитарная система дает механизмы связывать поверхности этих тел.

Тринитарная система дает возможность описывать и анализировать поверхности сложной формы с помощью систем связанных треугольников. На рис. 5 приведено разбиение Делоне [29] для плоских координат неплоской поверхности.

Модель построения такой системы основана на том, что используют пустой шар и перемещают его в системе точек S так, чтобы он мог касаться точек системы S, но всегда оставаться пустым. Шар (первоначально малого размера) помещают в систему точек и поверхность связывают с одной из точек (1). Затем начинают увеличивать поверхность шара, пока он не встретит точку (2). Затем увеличивают поверхность так, что точки (1) и (2) остаются на поверхности, пока поверхность шара не пройдет через точку 3. Для двухмерной системы точек вместо шара будет круг и нахождение трех точек заканчивает построение. Этим выявляется тринитарная система точек (1-2-3), внутри которой нет других точек системы *S*.

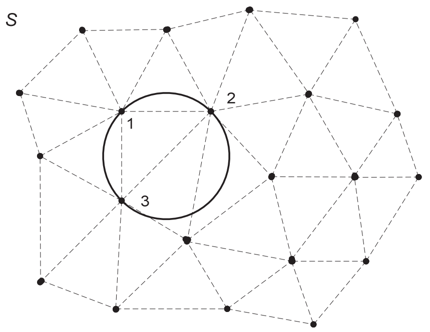

Рис. 5. Тринитарное разбиение Делоне двухмерной системы точек

В трехмерном пространстве можно продолжать увеличивать шар, пока он не пройдет через четвертую точку, лежащую на поверхности, которая чаще всего характеризует аппликату. Найденные четыре точки образуют тринитарную систему – тетраэдр, который задает элемент трехмерного пространства поверхности. Такой тетраэдр называют симплексом Делоне.

За рубежом такой подход к аппроксимации поверхности называют полигонами Тиссена или TIN-моделями, но делают ссылку на Делоне. Это обусловлено тем, что Делоне не исследовал поверхности, он исследовал пространственные тела в кристаллографии. Этот метод применяют в кристаллографии и в настоящее время [30]. Перенос метода из более сложной области исследования (объемные тела) на менее сложную (поверхности) принципиально ничего нового не меняет, кроме названия. Однако в российских публикациях упоминают полигоны Тиссена или TIN-модели, но про автора метода – Делоне – часто забывают.

Напомним, что в математике симплексом называют простейшую фигуру в пространстве. Случайно или нет, но это тринитарные системы. Для плоскости симплексом является треугольник, для трехмерного пространства – тетраэдр. Четверка точек всегда задает симплекс в пространстве. Но он будет симплексом Делоне только в том случае, если внутри него не будет других точек системы *S*.

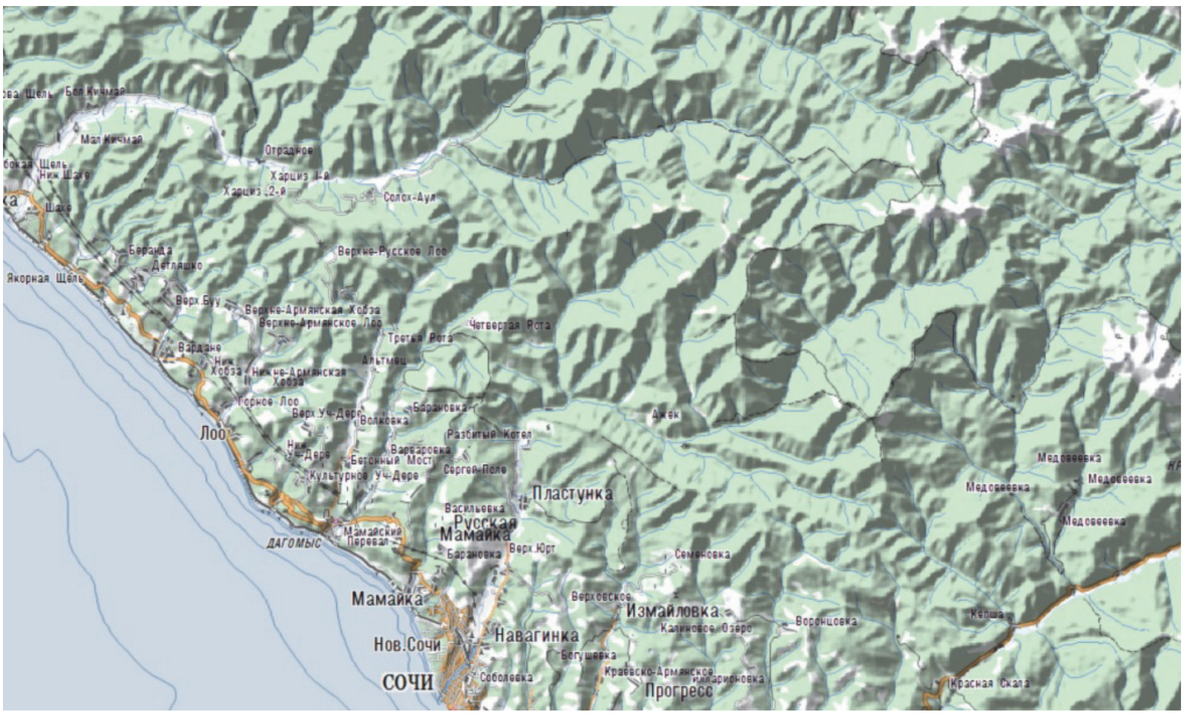

Рис. 6. Тринитарная модель реальной поверхности, полученная в ГИС «Карта 2011» [31]

Совокупность четвертых точек в симплексе Делоне задает так называемую «матрицу высот», которую применяют во многих ГИС, например в ГИС «Карта 2001». Матрица высот имеет регулярную структуру и содержит элементы, значениями которых являются высоты рельефа местности. Каждый элемент матрицы содержит одно значение высоты. Структура матрицы высот аналогична структуре цифровой модели рельефа DEM (Digital Elevation Model). Матрица высот позволяет проводить аппроксимацию реальной поверхности. На рис. 6 показана тринитарная модель реальной поверхности.

Элемент матрицы соответствует квадратному участку местности, размер стороны которого называется точностью матрицы. Матрица высот может содержать абсолютный рельеф местности или суммарный рельеф – сумму абсолютного рельефа и относительных высот объектов. Основными параметрами матрицы высот являются: масштаб матрицы; размер матрицы; плановая привязка матрицы; точность матрицы; минимальное и максимальное значение высоты; тип результирующего рельефа.

Матрица высот позволяет не только анализировать модель рельефа, но и решать другие задачи, например определение зоны возможного затопления. Все это делается на основе применения тринитарной системы – симплекса Делоне.

Заключение. Пространственная тринитарная система служит основой получения знаний, пространственных знаний и геознаний [32]. В настоящее время мало исследований проводится по обобщению и применению тринитарных систем как сложных систем. Таких исследований мало и в области пространственного анализа, хотя применение этих систем в этой области встречается очень часто. Пространственная тринитарная система служит основой пространственного анализа и пространственного моделирования. Фактически тринитарные системы применяют разрозненно в разных направлениях. Обобщение в области этих систем способствует междисциплинарному переносу знаний. Тринитарные системы часто служат инструментом познания и получения знаний. За рамками данной статьи остались многочисленные работы по уравниванию и триангуляции. Это еще более повышает значение тринитарных систем. Пространственные тринитарные системы также служат инструментом познания, особенно в области наук о Земле и в области космических исследований.

Литература

1. *Brown S.* Trinitarianism, the eternal evangel and the three eras schema // Marketing apocalypse: Eschatology, escapology and the illusion of the end. 1996. Vol. 2. P. 23.

2. *Grenz S. J.* The social god and the relational self: A Trinitarian theology of the imago Dei. – Westminster John Knox Press, 2001.

3. *Kärkkäinen V. M.* Trinity and Religious Pluralism: The Doctrine of the Trinity in Christian Theology of Religions. – Gower Publishing, Ltd., 2004.

4. *Schenk T.* Digital aerial triangulation // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. 1996. Vol. 31. P. 735–745.

5. *Bar-Yossef Z., Kumar R., Sivakumar D.* Reductions in streaming algorithms, with an application to counting triangles in graphs // Proceedings of the thirteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms. – Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002. P. 623–632.

6. *Плотников С. В.* Сравнение методов обработки сигналов в триангуляционных измерительных системах // Автометрия. 1995. № 6. С. 58.

7. *Михляев С. В.* Анализ оптических триангуляционных систем измерения профиля зеркальной поверхности // Автометрия. 2005. Т. 41. № 4. С. 78–91.

8. *Барышников Н. В. и др.* Экспериментальный анализ погрешности измерения триангуляционного метода в задачах технологического контроля профиля поверхности сложной формы. http://engjournal. ru/articles/912/912. pdf.

9. *English C. et al.* Tridar: A hybrid sensor for exploiting the complimentary nature of triangulation and LIDAR technologies // Proceedings of the 8th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space. 2005.

10. *Михляев С. В.* Системы технического зрения на основе фурье-оптики и оптической триангуляции для контроля размеров изделий и диагностики роста кристаллов: Автореф. дис. … докт. техн. наук. – Новосибирск, ИАиЭ СО РАН, 2009. 36 с.

11. *Фахми Ш. С.* Развитие триангуляционного подхода кодирования и декодирования не-

стационарных изображений // Вестник ТОГУ. 2010. № 3. С. 18.

12. *Ильченко В. Н.* Оптимальный контроль геометрических параметров изделий сложной формы с помощью оптических измерительных систем // Авиационно-космическая техника и технология. 2006. № 9. С. 45–47.

13. *Львов А. В., Агапов М. Н., Тищенко А. И.* Триангуляционная система определения координат источника звука // Ползуновский вестник. 2010. № 2. С. 159–162.

14. *Цветков В. Я.* Триада как инструмент научного анализа // Славянский форум. 2015. № 3 (9). С. 294–300.

15. *Цветков В. Я.* Триада как интерпретирующая система // Перспективы науки и образования. 2015. № 6. С. 18–23.

16. *Цветков В. Я.* Системная категориальная триада // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 4 (часть 3). С. 651–651.

17. *Монахов С. В., Савиных В. П., Цветков В. Я.* Методология анализа и проектирования сложных информационных систем. – М.: Просвещение, 2005. 264 с.

18. *Tsvetkov V. Ya.* Not Transitive Method Preferences // Journal of International Network Center for Fundamental and Applied Research. 2015. Vol. 3. Iss. 1. P. 34–42.

19. *Чехарин Е. Е.* Интерпретация информационных конструкций // Перспективы науки и образования 2014. № 6. С. 37–40.

20. *Hodder I., Orton C.* Spatial analysis in archaeology. – Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1976.

21. *Fortin M. J., Dale M. R. T.* Spatial analysis: a guide for ecologists. – Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2005.

23. *Bailey T. C., Gatrell A. C.* Interactive spatial data analysis. – Essex: Longman Scientific & Technical, 1995.

24. *Anselin L., Syabri I., Kho Y.* GeoDa: an introduction to spatial data analysis // Geographical analysis. 2006. Vol. 38. No. 1. P. 5–22.

25. *Бондур В. Г.* Информационные поля в космических исследованиях // Образовательные ресурсы и технологии. 2015. № 2 (10). С. 107–113.

26. *Бондур В. Г., Лёвин Б. А., Розенберг И. Н., Цветков В. Я.* Космический мониторинг транспортных объектов: учебное пособие. – М.: МГУПС (МИИТ), 2015. 72 с.

27. *Чехарин Е. Е.* Интерпретация космической информации при исследовании Земли // Образовательные ресурсы и технологии. 2015. № 2 (10). С. 137–143.

28. *Fotheringham S., Rogerson P. (ed.).* Spatial analysis and GIS. – CRC Press, 2013.

29. *Делоне Б. Н.* Геометрия положительных квадратичных форм // Успехи математических наук. 1937. № 3. С. 16–62.

30. *Иванов В. В., Таланов В. М.* Разбиение и структурирование пространства, описание процесса формирования модульного кристалла // Успехи современного естествознания. 2012. № 8.

31. *Дышленко С. Г., Цветков В. Я.* Построение трехмерных карт // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. № 4 (16). С. 130–138.

32. *Tsvetkov V. Ya.* Geoknowledge // European Journal of Technology and Design. 2016. Vol. 13. Iss. 3. P. 122–132.

Spatial trinitarian analysis

***Viktor Yakovlevich Tsvetkov**, Professor, Doctor of Technical Sciences, Moscow technological University (MIREA).*

This article describes the spatial analysis of Trinitarian. The article argues that the basis of the analysis is a Trinitarian Trinitarian system. This article describes the two analyzes trends based on the decomposition of complex systems on the trinitarian and the creation of complex systems based on the trinitarian. The article shows that the trinitarian system more general concept compared with the triangle. The article proves that the trinitarian system are spatial simplex. The article shows that the trinitarian system is non-linear and therefore not always be reduced to linear dyadic system. The article displays two features Trinitarian systems.

Keywords: applied geoinformatics, complex system, the Trinitarian system, spatial analysis, spatial analysis of the Trinitarian, triad, dyad, the Delaunay partition.