

UDC 004.4'41: 004.942

## Complexity Index

Victor Y. Tsvetkov

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Russian Federation  
Dr. (Engineering), Professor  
E-mail: cvj2@list.ru

**Abstract.** The article describes the methods for estimating the specific characteristics of objects and systems that is called complexity. The article describes the "dogma of dimensionality" as a method to eliminate or reduce complexity. The article describes the kinds of difficulty. The article reveals the causes of difficulty. The article argues that the complexity is a correlate. The article describes the internal and external factors of complexity. The article describes the main evaluation methods of complexity.

**Keywords:** complexity; the dogma of the one-dimensionality; formalization; system analysis; evaluation of complexity; types of complexity; the causes complexity the correlative analysis; constructive objects.

**Введение.** Сложность является часто встречающейся характеристикой объектов, явлений, ситуаций, задач и процессов. Она служит причиной трудности или невозможности исследования, решения задач или анализа результатов. В тоже время, исследование проблемы сложности и оценка сложности является недостаточно широким. Исторически эта проблема хорошо исследована в области вычислительных алгоритмов. Но в более широком понимании исследование проблемы оценки сложности остается открытым. Понятие сложности часто формируется на основе интуиции с учетом психологических факторов, что говорить о ее недостаточной изученности. Таким образом, задача оценки сложности является актуальной при научных исследованиях и анализе результатов исследования [1]. Данная статья является этапом исследования оценки сложности в междисциплинарном аспекте.

**Догма одномерности как пример преодоления сложности.** В настоящее время осознанно или неосознанно в ряде научных исследований применяют догму одномерности. Догма одномерности характеризуется тремя признаками. Эти признаки проявляются как совместно, так и раздельно.

Первый признак догмы одномерности: Попытка определить сложное понятие (полисемическое понятие), сложную ситуацию, сложное явление — одним определением или одной трактовкой.

Второй признак догмы одномерности. Попытка рассмотреть и трактовать сложное явление с одной точки зрения, в одном аспекте или с учетом одной причинно-следственной связи.

Третий признак догмы одномерности. Исключать, искажать или упрощать другие определения, другие точки зрения, другие аспекты, которые наряду с принятой трактовкой дают альтернативное объяснение данному явлению, процессу или закономерности.

Все три признака связаны с упрощением «сложной сущности» и заменой «сложной сущности» на «простую сущность».

В ряде случаев применение догмы одномерности дает положительные результаты. Если исключаются второстепенные признаки, упрощение и снижение «сложности» позволяет выявить сущность явления. Этот подход является основой моделирования. Процесс упрощения допустим, если при этом сохраняются существенные признаки и исключаются второстепенные.

Во многих науках такой процесс называют редуцированием, например, взятие сложного интеграла методом оценивания параметров. Но при упрощении с исключением существенных признаков, появляется неадекватность исследования и неадекватность трактовки результатов такого исследования. Сам по себе процесс упрощения также является сложным. Это приводит к необходимости оценки сложности.

**Виды «сложности» и свойства сложности.** *Связанность.* Особенность термина «сложность» в том, что он является связанной сущностью (или атрибутом) и с другой сущностью. Это порождает различные виды сложности. Например, различают виды сложности по связи с объектом: сложность системы (объекта) [2], сложность процесса (действия), сложность явления, условная колмогоровская сложность, простая колмогоровская сложность, префиксная сложность [3], сложность ситуации, сложность теории и т.д.

Следовательно, термин «сложность» требует указания связанного объекта, по отношению к которому сложность оценивается. В противном случае оценка сложности будет неадекватной. Сложности качественно разных сущностей или разных атрибутов могут быть не сопоставимы.

*Коррелятивность.* Особенность термина «сложность объекта» в том, что он является коррелятом [4]. Это означает, что существует второй коррелят – «простой объект», который показывает предельный случай отличия от первого коррелята – «сложность объекта». Например, термин «сложная система» подразумевает характеристику такой системы и ее отличие от «несложной системы» или «простой системы». Оппозиционным коррелятом сложности является «простота». По словам Пригожина [1] – «сложность представляет собой понятие, принадлежащее обиходному словарю, и всегда соседствует с понятием простоты».

В частности, при разложении функции в ряд, чем меньше членов имеет ряд, тем больше оснований считать его более простым и менее сложным. Соответственно, чем больше членов имеет ряд, тем выше его сложность и меньше простота.

Следовательно, для полноты исследования термин «сложность объекта» требует указания альтернативного объекта, который такой сложностью не обладает. Это задает предельный случай отсутствия данной сложности. В противном случае оценка сложности будет не полной.

*Сравнительность.* Особенность термина сложность в том, что он может быть сравнительным, если задан ряд «сложностей». Например, «первый вариант сложнее второго», «третий вариант сложнее второго», «десятый вариант - самый сложный». Это дает возможность для оценки сложности на множестве альтернативных вариантов выстраивать бинарные отношения порядка [5].

*Атрибутивность и агрегативность.* Особенность термина «сложность» в том, что он может характеризовать не только объект в целом, но и атрибут объекта, то есть может характеризовать сложность определенного качества объекта. Это свойство называется атрибутивностью. «Сложность» может характеризовать не только объект в целом, но и его части, что в совокупности определяет сложность объекта. Это свойство называется агрегативностью. Например, различают разные сложности одного и того же объекта:

- структурная сложность объекта [6];
- сложность процессов, в которых участвует объект [7];
- сложность получения решения в допустимое время – временная сложность [8, 9];
- сложность, обусловленная ограниченным объемом памяти вычислительной системы при больших объемах перерабатываемой информации – ёмкостная сложность [9];
- сложность определения положения в пространстве – пространственная сложность позиционирования;
- сложность формы объекта – морфологическая сложность;
- сложность ситуации [10], в которой находится объект – ситуационная сложность;
- сложность позиции [10], в которой находится объект – позиционная сложность;
- сложность декодирования объекта [3] – криптографическая сложность.
- сложность описания явления, с которым взаимосвязан объект;
- сложность теории, описывающей поведение объекта, и т.д.

Следовательно, для полноты исследования можно говорить об «обобщенной сложности» объекта и об «атрибутивной сложности» характеристик объекта. Это дает возможность декомпозиции обобщенной сложности на атрибутивные сложности и выявления причинно–следственной связи между ними.

*Когнитивность (субъективность).* Особенность термина «сложность» в том, что оценка сложности связана с субъектом, проводящим исследование или анализ, и

формируется с учетом уровня интеллекта этого субъекта. Например, сложная шахматная позиция для шахматиста–любителя может быть простой для гроссмейстера.

Следовательно, говоря о сложности, необходимо указывать те интеллектуальные и информационные ресурсы (теории, методы, принципы), которые послужили основой для оценки данной сложности. Для объективной оценки сложности необходимо максимальное исключение субъективного подхода и таких критериев как «по моему мнению», «мой опыт», «опыт или мнение коллег» и т.д. Говоря языком эпистемологии, следует избегать «эпистеме» - субъективного и правдоподобного знания, если есть возможность использования достоверного знания – «докса». Это приводит к понятию «внутренняя сложность».

*Влияние внешних факторов на оценку.* Особенность термина «сложность объекта» в том, что он имеет двойственную связь: с субъектом, проводящим исследование объекта, и с внешней средой, которая задает условия существования и поведения объекта, в этой среде. Например, сложность управления кораблем (самолетом) в штормовую (неблагоприятную для полета) погоду зависит как от штормовой погоды, так и от компетенций капитана корабля (самолета). Это дает основание выделять сложность обусловленную изменением внешней среды безотносительно к субъекту. Следовательно, по критерию субъективного и объективного можно разделять сложность на «внутреннюю» («субъектную») и «внешнюю» («ситуационную»). Это независимые виды сложностей, которые в совокупности определяют «обобщенную сложность» ситуации.

Внутренняя сложность лежит в области интеллекта субъекта. Ее уменьшение обусловлено повышением уровня интеллекта и набором стереотипов преодоления сложных ситуаций.

Внешняя сложность обусловлена непредсказуемостью внешней среды и созданием новых ситуаций, значительно отличающихся от ранее встречавшихся. Внешняя сложность обусловлена увеличением числа связей, информационных объемов, при описании объекта. Это приводит к понятию «статическая сложность». Внешняя сложность обусловлена увеличением числа связей, информационных объемов, при описании процессов. Это приводит к понятию «динамическая сложность».

Кроме того, для динамической и статической сложности можно выделить «сложность по объему» и «сложность по связям».

*Процессуальность.* Во многих источниках литературы, сложность делят на два вида [11]: сложность описания и сложность действия (процесса, вычисления).

Сложность описания может соотноситься с любой сущностью из перечисленных выше. Эта сложность имеет внешние и внутренние причины и, соответственно, может выражаться другими сложностями.

**Причины появления сложности.** Причины появления сложности различны. Например, сложность описания явления чаще обусловлена нехваткой ресурсов (теории, методов, моделей) для описания данного явления [3]. Сложность теории чаще всего лежит в когнитивной области восприятия человека.

Одной из основных причин сложности можно выделить такую характеристику как «многообразие». Многообразие может проявляться в количестве связей и в больших объемах информации.

Существует подход, при котором сложность описания оценивается параметрами: большим объемом информации, числом связей, видом моделей. Связи между элементами системы или объекта описывают графом. Это определило направление оценки сложности на основе анализа графа, который называют графом сложности. Узлы соответствуют элементам системы, дуги связям. Однако в этом случае возможны два варианта.

Если рассматривать всю систему целиком, не вникая во взаимосвязи элементов то получается плоский граф. Такой анализ называется «поиском в ширину». Если исследовать связи между элементами и подсистемами, то граф становится объемным гиперграфом. Такой анализ называют «поиском в глубину» [11].

В работе [12] выделен ряд специальных характеристик сложной системы, некоторые из которых можно перенести на характеристики внутренней сложности описания. Эти характеристики включают такие качества: обзримость, воспринимаемость, сравнимость, интерпретируемость. Соответственно, возможны сложности: сложность

обозрения, сложность восприятия, сложность сравнения, сложность интерпретации. Эти виды сложности лежат в когнитивной области интерпретатора (человек, компьютер, интеллектуальная система).

Внутренняя сложность описания связана со сложностью представления. В лингвистике и в области вычислительной техники (особенно в сфере параллельных вычислений) эту сложность связывают с семантическим разрывом [13].

Сложность процесса, в частном случае процесса вычисления имеет свои причины. Например, она может быть обусловлена лингвистическими средствами и типами вычислительного устройства. В частности применение последовательной или параллельной вычислительной системы влияет на алгоритм и сложность вычисления.

Сложность вычисления имеет такие характеристики как: ветвление, логика, тупики. В редких случаях она описывается простыми графами. Чаще для описания вычислительных алгоритмов используют сети Петри и другие модифицированные модели.

В последнее время к видам сложности добавился новый. Он связан с динамическими ситуациями и принятием решений. Этот вид сложности называют сложностью временного согласования. Например, такая сложность встречается в высокоскоростных транспортных системах. Эта сложность обусловлена противоречием между допустимым временем и техническим временем решения. Допустимое время – это время решения задачи управления по ситуации, в которой находится объект управления. Техническое время решения – это время решения задачи системой управления на основе алгоритма или на основе используемой модели.

**Взаимосвязь оценок сложности.** Несмотря на разнообразие видов сложности, оценки разных видов сложности могут быть получены на основе небольшого числа методов и подходов.

Например, сложность кодирования может быть оценена с помощью показателя криптографическая стойкость.

Морфологическая сложность может быть оценена коррелятивно, сравнительно и с использованием методологии колмогоровской сложности. Сравнительная оценка морфологической сложности может задаваться рядом возрастающих по сложности объектов: плоская кривая, пространственная кривая, односторонняя поверхность, тело с четкой поверхностью, тело с нечеткой поверхностью. Коррелятом или предельным случаем морфологической «простоты» для кривых будет прямая, а для поверхностей будет плоскость.

Методология колмогоровской сложности дает основание использовать при описании морфологической сложности конструктивные объекты [3]. При описании графических образов конструктивные объекты являются простыми семантическими моделями [14], на основе которых конструируют сложные морфологии.

Объемная сложность, временная сложность, сложность описания, пространственная сложность позиционирования, внутренняя сложность – могут оцениваться по степени нехватки информационных ресурсов для решения соответствующей задачи. Эта оценка может быть сведена к оценке информационной асимметрии между имеющимися и необходимыми информационными и интеллектуальными ресурсами.

Сложность процессов, алгоритмов оценивают с использованием графов, которые разделяют на плоские и гиперграфы. Кроме того, применяют четкие и нечеткие графы.

Ситуационную и позиционную сложность оценивают по набору стереотипов (конструктов), применяемых для анализа ситуаций и позиций. Это приводит к информационной асимметрии между необходимым набором стереотипов и имеющимся в распоряжении исследователя. Дополнительно для анализа ситуационной и позиционной сложности применяют графовый подход. Примером могут служить различные вариации применения транспортных графов.

Сложность объекта или системы как совокупности конструктов может быть оценена с помощью коэффициента эмерджентности [15], который показывает степень различия между суммарным числом состояний конструктов и числом состояний системы, как объединения конструктов.

**Выводы.** При оценке сложности необходимо указывать вид сложности и сущность, для которой оценивается сложность. В противном случае оценка сложности будет неполной.

Несмотря на разнообразие видов сложности для их оценки может быть использованной достаточно ограниченное число методов и подходов. Общим для всех видов сложности может служить сравнительная оценка и коррелятивная оценка, которая показывает предельный случай «простоты».

Для оценки большинства видов сложностей могут быть использованы конструктивные объекты [3], которые могут служить базой для оценки сложности составных объектов.

Для оценки сложности связей, структур, ситуаций, позиций и процессов достаточно апробированными являются графовые методы.

Для оценки объемной, временной сложности и сложности семантических разрывов [13] оценкой может служить вид информационного взаимодействия и информационная асимметрия. В свою очередь информационное взаимодействие может характеризоваться графом сложности.

В общем, различные виды сложности можно сводить друг к другу, что позволяет осуществлять междисциплинарный перенос оценок сложности.

### **Примечания:**

1. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М.: Мир, 1990. 343 с.
2. Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Соловьёв И.В., и др. Основы управления сложной организационно-технической системой. Информационный аспект. М.: МаксПресс, 2010. 228 с.
3. Вьюгин В.В. Колмогоровская сложность и алгоритмическая случайность. М.: ИППИ РАН, 2012. 131 с.
4. Tsvetkov V.Ya. Framework of Correlative Analysis // European Researcher, 2012, Vol.(23), № 6-1, p. 839–844.
5. Толстых С.С., Подольский В.Е., Бучнева В.В. Современное состояние теории сложности и возможности ее применения в сфере телекоммуникаций / Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению "Информационно-телекоммуникационные системы", 2008. 46 с.
6. Толстых С.С. Разработка алгоритмического и программного обеспечения вычисления рекурсивных функций структурной сложности / С.С. Толстых, А.Г. Клещев // Труды ТГТУ. 1999. Т. 4, № 2–3. С. 135–138.
7. Солодовников, В.В. Теория сложности и проектирование систем управления. (Теория и методы системного анализа) / В.И. Тумаркин. М.: Наука, 1990. 168 с.
8. Tsvetkov V.Ya. Multipurpose Management // European Journal of Economic Studies 2012, Vol.(2), № 2 p.140-143.
9. Адигеев М.Г. Введение в теорию сложности. Ростов–на–Дону: РГУ, 2004. 35 с.
10. Tsvetkov V.Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European Researcher, 2012, Vol.(36), № 12-1, p. 2166–2170.
11. Подольский В.Е., Толстых С.С. Повышение эффективности региональных образовательных компьютерных сетей с использованием элементов структурного анализа и теории сложности. М.: Машиностроение, 2006. 176 с.
12. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Среда поддержки интеллектуальных систем // Транспорт Российской Федерации. 2011. № 6. С. 6-8.
13. Tsvetkov V.Y. Information Interaction as a Mechanism of Semantic Gap Elimination // European Researcher, 2013, Vol.(45), № 4-1, p. 782–786.
14. Tsvetkov V.Ya. Information objects and information Units // European Journal of Natural History. 2009. № 2. P. 99.
15. Харкевич А.А. Избранные труды в 3-х томах. Том 3. Теория информации. Опознавание образов. М.: Наука, 1973. 524 с

УДК 004.4'41: 004.942

### **Оценка сложности**

Виктор Яковлевич Цветков

Московский государственный университет геодезии и картографии, Российская Федерация  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: cvj2@mail.ru

**Аннотация.** В статье описана оценка специфической характеристики объектов и систем, которая называется сложность. Кратко дается описание догмы одномерности как метода исключения или уменьшения сложности. Описаны виды сложности. Показаны причины появления сложности. Показано, что сложность является коррелятом. Показано, что сложность формируется на основе внутренних и внешних факторов. Описаны основные методы оценки сложности.

**Ключевые слова:** сложность; догма одномерности; формализация; системный анализ; оценка сложности; виды сложности; причины сложности; коррелятивный анализ; конструктивные объекты.