

ЧТО ТАКОЕ «СЛОЖНОСТЬ»?

А.С. Милославов

В работе на примерах из философских и научных текстов анализируется понятие сложности. Выявляются принципиальные характеристики сложных систем и объектов.

Известно, что одной из функций философского знания является экспликация универсалий культуры на основе их рационализации и систематизации. Культура – безусловно, многогранное явление, но одной из важнейших ее составляющих является язык. Именно благодаря языку универсалии культуры фиксируются, транслируются и нередко наполняются конкретно-историческим, предметным содержанием. Поэтому одной из задач философии является прояснение и уточнение смысла терминов, используемых человеком в процессах коммуникации.

Вероятно, не вызовет возражений утверждение о том, что в практике повседневного общения мы достаточно часто употребляем для характеристики каких-либо сущностей термины, образованные от слова «сложность». Например, услышав вопрос или познакомившись с какой-то проблемой, мы предваряем выражение нашей точки зрения замечанием: «Это сложный вопрос (проблема)». По-видимому, чаще всего эта ситуация свидетельствует о том, что мы не имеем однозначного ответа, не видим быстрого решения или просто хотим предварить собственно изложение нашей точки зрения пространством вступлением, выполняющим функцию объяснения. Конечно, в большинстве случаев, когда мы находимся в ситуации повседневной (бытовой) коммуникации, уточнять, что имеют в виду, говоря о «сложности», по-видимому, не требуется.

Другое дело, если тот или иной термин используется в научном или научно-практическом контекстах. Научная терминология отличается строго фиксированным в рамках той или иной области знания смыслом и достаточно точно определенной областью значения. Небрежное обращение с терминами может привести, например, к следующей ситуации. «Современная цивилизация отличается сложностью и многообразием. Нельзя утверждать, что традиционные общества просты по определению. В некоторых сферах именно наша цивилизация является простой. Индийское кастовое общество и традиционное австралийское – вот два ярких примера, соответственно, социальной и культурной сложности. Тем не менее, современная цивилизация занимает особое положение: она является доминирующей, постепенно становясь всеохватывающей» [1, с. 65]. Очевидно, автор цитируемой работы не слишком озабочен терминологической строгостью, и, как следствие, для читателя остается непонятным, чем современная цивилизация сложнее традиционного общества.

Сложность как характеристика встречается не только в сфере гуманитарного знания, но и в естественных науках, например, в области биологии. «Удивительно не только то, что клетки современных эукариотов намного крупнее, чем клетки археобактерий и бактерий, но также и их сложность... Как произошло это сравнительно быстрое увеличение сложности и информационного содержания?» [2, с. 84]. Думается, что для ответа на сформулированный вопрос разумно, прежде всего, прояснить, что имеется в виду под терминами «сложность» и «информационное содержание».

Обратим также внимание читателя на то, что в последнее время «сложность» является характеристикой, играющей важную роль в процессе преподавания различных дисциплин. Это связано, прежде всего, с практикой внедрения компьютерного тестирования при проверке знаний учащихся. Современные системы дистанционного обучения позволяют ранжировать вопросы в зависимости от степени их сложности. Поэтому

представляется важным разработать точные критерии и зависимости, в соответствии с которыми тестовый вопрос может быть оценен как более или менее сложный.¹

Наконец, следует отметить, что в современной научной литературе понятие сложности не только применяется для характеристики различных сущностей, но и служит одним из ключевых моментов, вокруг которых конституируются новые научные дисциплины (кибернетика, теория систем, синергетика и т.п.) и формируются новаторские методы исследований. Так, например, труд «Информация и самоорганизация» Г. Хакена, одного из основоположников синергетики, имеет подзаголовок «Макроскопический подход к сложным системам» [3], а книга Г. Саймона² «Науки об искусственном» содержит главу, которая называется «Архитектура сложности». Для С. Бира «сложность», в свою очередь, является одним из параметров, позволяющих определить предмет кибернетики, которая, по мнению этого ученого, описывает «очень сложные вероятностные системы» [4, с.35].

В связи со сказанным выше представляется разумным осуществить прояснение «смыслов» сложности с целью возможного выявления общих оснований, позволяющих приписывать свойство сложности столь различным сущностям, как вопрос или проблема, система, цивилизация и т.п.

Для решения этой задачи полезно обратиться, в том числе, и к истории философской мысли, поскольку именно в философских текстах наиболее общие категории науки и культуры закрепляются и приобретают рациональную экспликацию.

Очевидно, что говорить о «сложном» можно, лишь учитывая его противоположность, а именно «простое». Именно так поступает в своих диалогах Платон, различая при этом «простое» и «сложное» прежде всего в онтологическом аспекте. В «Государстве» сообщается: «Значит, бог – это нечто вполне простое и правдивое и на деле, и в слове; он и сам не изменяется и других не вводит в заблуждение ни на словах, ни посылая знамения – ни наяву, ни во сне» [5, с. 2098]³. А в диалоге «Федон», говоря о вещах, которые могут претерпевать состояние «рассеяния», т.е. уничтожения, Сократ утверждает: «Не надлежит ли испытывать это состояние такой вещи, которая возникла из сложения и сложна по своей природе? [Не должно ли это сложное] разделяться, поскольку оно было сложно? Только тому, что окажется несложным, не надлежит ли преимущественно не испытывать этого состояния» [6, с. 1746].

Учитывая общий контекст философской доктрины Платона, можно сделать вывод, что «простое» интерпретируется античным философом как вечное, неизменное, божественное, истинное, и, по сути дела, как Единое. «Сложное», в свою очередь, понимается как изменчивое, непостоянное, вторичное по «природе».

Аристотель не принимает отождествление «единого» и «простого», которое предлагал осуществлять его учитель. Стагирит в «Метафизике» писал: «...(<при этом надо учесть, что> единое и простое – это не одно и то же: единое обозначает меру, а простое – что у самой вещи есть определенная природа)» [7, с. 3253].

Простое у Аристотеля связано с необходимостью. «Поэтому основной и главной необходимостью обладает простое; в отношении к нему дело не может обстоять по-разному, а значит: то – так, то – иначе; в противном случае оно бы существовало по-разному. Если поэтому существуют некоторые вечные и неподвижные вещи, в них нет

¹ Автору, имеющему некоторый опыт составления тестовых заданий для системы ДО ИТМО, приходилось участвовать в дискуссии с коллегами по вопросам о том, не являются ли предполагаемые задания слишком сложными для студентов и какой коэффициент трудности им приписать.

² Герберт Саймон – американский математик, экономист, психолог, один из основоположников исследований в области «искусственного интеллекта». Лауреат Нобелевской премии по экономике (1978 г.). Лауреат премии имени А. Тьюринга (1975 г.).

³ При цитировании текстов из мультимедийной библиотеки мы приводим сквозную нумерацию страниц.

ничего насильственного или противного <их> природе» [7, с. 2927]. А сложное понимается как «составное», когда мыслится в модусе бытия, и как разделенное на части, когда мыслится как небытие. «С другой стороны, если взять вещи несоставные, что здесь представляет собою бытие и небытие, истину и ложь? Бытие в этом случае <уже> не является составным, так чтобы мы имели его тогда, когда оно выступает как сложное, а небытие – когда оно разделено на части, как, например, мы принимаем, что дерево бело или диагональ несоизмерима; и точно так же правда и ложь не будут уже даны здесь так, как в случаях, указанных выше» [7, с. 3130].

Таким образом, мы видим, что античные философы устанавливали онтологическое различие между простым и сложным, которое выражается в традиционных для древнегреческой мысли парах противоположностей, таких как «единое–многое», «элементарное–составное», «необходимое–случайное».

Влияние древнегреческой мысли, как известно, сказывается на протяжении всей истории европейской философии. Поэтому неудивительно то, что обозначенные ранее онтологические характеристики сложности встречаются в работах мыслителей других эпох. Так, например, Николай Кузанский, почти следуя за Платоном, отмечает, что простота – это свойство Бога⁴. Он пишет в «Апологии ученого незнания»: «... в царстве Божиим, где простота и мир превосходят всякое восприятие, не может быть различия» [9, т.2, с.13]. В другом труде Кузанца мы читаем: «Бог – не корень противоречивых понятий; он сама простота, которая прежде всякого различия» [9, т.1, с. 186]. Абсолютная простота – это свойство единого. В божественной простоте сосредоточены все вещи. «Ты, Бог, всемогущий, ибо Ты – абсолютная простота, в которой абсолютная бесконечность» [9, т.2, с. 65].

Но простота, согласно Н. Кузанскому, является характеристикой не только божественного бытия. Она характеризует бытие и сущность всякой вещи: «...так, сущность Сократа охватывает все сократово бытие, и в этом простом сократовом бытии нет никакой инаковости, никакого различия... Простое сократово бытие есть бытие всех членов Сократа, где всякое присущее членам разнообразие и инаковость бытия есть простое единство в форме целого» [9, т. 2, с. 64–65].

Таким образом, простое бытие – это сущность и единство вещи, а применительно к Богу, – это также бесконечность, слияние противоположностей, необходимость.

Сложность, в свою очередь, осмысливается философом Возрождения как противоположность простоты и характеризуется через множественность, конечность, случайность. Простота в онтологическом смысле предшествует сложности.

В работах Кузанца также присутствует гносеологический аспект противопоставления простого и сложного. «Подобным же образом нужно сказать обо всем сложном, потому что всякому такому сложному относящемуся к чувственному миру, предшествует простое, которое мыслится... Я вижу, следовательно, каким образом ощущается что-либо в области чувственного: ему предшествует простое, которое мыслится» [9, т.2, с. 213]. Таким образом, в аспекте процесса познания простота предшествует сложности: простое постигается непосредственно благодаря деятельности ума, сложное различается опосредованно чувственным восприятием, которое обязательно предваряется интеллигибельным познанием простого.

Различие между простым и сложным как различие между непосредственным и опосредованным в процессе познания достаточно значимо для философии Нового времени. Например, Декарт формулирует следующее правило метода: «Руководить ходом своих мыслей, начиная с предметов простейших и легко познаваемых, и восходить мало-помалу, как по ступеням, до познания наиболее сложных, допуская существование порядка даже среди тех, которые в естественном порядке вещей не предшествуют друг

⁴ Конечно, здесь «следование за Платоном» ограничивается христианской традицией.

другу» [10, с. 13259]. Поскольку о легкости познания, с точки зрения Декарта, свидетельствуют несомненность, ясность и отчетливость, непосредственная очевидность, то простота и сложность «предметов» в цитированном фрагменте относится не к самим вещам, но к нашему знанию о них, к путям познания вещей.

Истолкование в аспекте познавательной деятельности «простого» как данного непосредственно характерно также для философии Г.-В.-Ф. Гегеля.

Важный этап для интерпретации и уточнения понятия сложного, по нашему мнению, начинается со второй половины XX века и связан с формированием таких областей знания, как кибернетика, теория систем, синергетика.

Так, Стаффорд Бир, разъясняя вопрос о том, что изучает кибернетика, непосредственно связывает объект кибернетических исследований с понятием сложности. В частности, он писал: «Итак, мы обсуждаем очень сложные вероятностные системы, имеющие гомеостатическую природу» [5, с. 40]. Таким образом, понятие сложности оказывается связанным с другим важным для кибернетики понятием, а именно, с понятием вероятности. Именно эти два понятия играют роль формальных оснований в общей классификации систем, которую предлагает С. Бир. Основоположник так называемой «организационной кибернетики» подразделял системы на следующие группы: 1) простые детерминированные системы; 2) сложные детерминированные системы; 3) простые вероятностные системы; 4) сложные вероятностные системы; 5) очень сложные вероятностные системы. Автор этой классификации признает, что такая систематизация является произвольной, т.е. границы, разделяющие классы, очень расплывчаты. Так, мы можем считать некоторую абстрактную систему детерминированной, но она может потерять это свойство, как только на нее начнет оказывать влияние внешняя среда. Например, простая детерминированная система, состоящая из двух бильярдных шаров, может стать вероятностной, если учитываются при ее описании внешние воздействия, скажем, неровности игрового стола.

Но важным является то, что, несмотря на «размытость» выделенных классов, группировка систем, предлагаемая С. Биром, не является результатом произвольно осуществляемой абстракции. На самом деле в основание деления положена свойственная системам природа управления [5, с.34–35]. Таким образом, понятие сложности оказывается связанным с понятием управления.

Известный специалист в области «искусственного интеллекта» Г. Саймон в работе [11], которую мы упоминали выше, также уделяет много внимания сложным системам. «Под сложной системой, – пишет Саймон, – мы понимаем систему, состоящую из большого числа частей и взаимодействующую между собой сложным образом. В таких системах целое больше, чем сумма частей» [11, с. 104–105]. От себя заметим, что, судя по текстам, этот авторитетный ученый не слишком озабочен логической правильностью определений.⁵

Но отнюдь не количество элементов системы является, согласно американскому ученому, мерой ее сложности. Дело в том, что вопрос о том, какие составляющие считать элементарными, по мнению Г. Саймона, достаточно произволен. Иначе говоря, с одной точки зрения, мы, например, можем рассматривать человека как систему, состоящую из шести элементов: двух рук, туловища, головы и двух ног. С другой точки

⁵ Внимательный читатель обнаружит в приведенном определении даже две тавтологии. Одна из них очевидна: «сложное» определяется через «сложное». Для разъяснения второй, скрытой тавтологии приведем цитату из работы Гегеля: «Что сложное есть само по себе не одно, а лишь внешне сочетанное и что оно состоит из иного, это его непосредственное определение. Но иное сложного есть простое. Поэтому сказать, что сложное состоит из простого, – это тавтология. – Если уже задают вопрос, из чего состоит нечто, то требуют, чтобы указали некое иное, сочетание которого составляет это нечто» [12, с. 31959].

зрения в качестве элементов системы, именуемой человеком, можно рассматривать биологические клетки.

На самом деле, в подходе Г. Саймона к понятию сложности не все так просто: выделение элементарных составляющих не является результатом чистого произвола или конвенции.

Главное свойство сложных систем заключается в том, что сложность чаще всего проявляется в форме иерархии. Более того, американский ученый утверждает, что все иерархические системы обладают общими свойствами, не зависящими от их конкретного содержания. Таким образом, понятие сложной системы в рассматриваемой концепции приобретает более или менее объективный характер. Возвращаясь к нашему примеру, можно было бы сказать, что человека не стоит рассматривать как сложную систему, состоящую из шести указанных элементов, поскольку в этом случае иерархическое строение просматривается недостаточно.

Кроме того, понятие сложности приобретает в работе Г. Саймона объективный, не зависящий от нашего произвола, характер благодаря еще одному достаточно важному аспекту. Дело в том, что понятие сложности оказывается связанным с понятием эволюции, а последнее, в свою очередь, с понятием времени. Саймон пишет: «...время, необходимое, чтобы в результате эволюции из простых форм возникли сложные формы, критическим образом зависит от числа и распределения потенциальных промежуточных устойчивых форм» [11, с. 112.]. И далее: «Среди сложных систем только иерархии располагают достаточным временем для развития» [там же].

Временной аспект понятия сложности в современной науке находит свое выражение и в так называемой «теории сложности вычислений». Этот важный раздел современной информатики берет свое начало в работах А. Тьюринга. Общеизвестно, что английский математик рассмотрел абстрактную модель вычислительного устройства («машина Тьюринга») и, тем самым, представил формализацию понятия эффективно вычислимой функции. Кроме того, на основе своей модели А. Тьюринг доказал, что невозможно построить алгоритм, устанавливающий выполнимость произвольной формулы исчисления предикатов. Благодаря идеям, заложенным в работах английского математика, ученые получили возможность отвечать на вопрос: какие задачи могут, а какие не могут быть решены на компьютере.

Один из основоположников теории сложности вычислений С. Кук в «тьюринговской лекции» отмечает, что естественным продолжением исследования вычислимых функций была постановка вопроса о сравнительной вычислительной сложности вычислимых функций [13, с. 476]. Чтобы разъяснить область исследований теории сложности, процитируем Р. Карпа. «Есть три уровня проблем. Есть уровень решения вполне конкретного случая задачи: скажем, вам нужен кратчайший путь по 48 столицам континентальных штатов плюс Вашингтон. К практику этот уровень ближе всего. Затем есть уровень изучения общей задачи с упором на методы ее решения: вы хотите знать, какова сложность задачи о коммивояжере или о подборе пар для худшего случая. Этот уровень выше, поскольку вас интересует не просто конкретный случай. Затем есть уровень метатеории, на котором изучается вся структура целого класса задач. Таковую точку зрения мы унаследовали у логики и теории вычислимости [14, с. 526].

Какие же критерии используются специалистами в области информатики для оценки сложности задач? М. Рабин в [15] перечисляет следующие числовые характеристики, связанные с некоторой последовательностью вычислений. Во-первых, это длина последовательности. Этот параметр характеризует время вычисления. Во-вторых, глубина вычисления, т.е. число уровней параллельных шагов, на которые последовательность вычислений для какого-то частного случая может быть разложена. Обратим внимание, что этот параметр соответствует времени, которое потребовалось бы при параллельном вычислении. В-третьих, объем памяти, требуемый для вычисления. Наконец,

иногда интерес представляет количество шагов некоторого вида, например, арифметических операций.

Однако из перечисленного выше именно временная характеристика играет наиболее важную роль в оценке сложности задачи (см. напр.: [14]). Действительно, одним из важнейших результатов, полученных в теории вычислительной сложности, является выделение задач Р-класса. Если определять неформально, то этот класс состоит из всех тех задач, которые могут быть решены за полиномиальное время. Другим важным выделяемым классом является класс так называемых NP-задач. Если снова определять неформально, то это класс задач, «для которых любое предложенное решение может быть проверено за полиномиальное время» [16, с. 510]. При этом считается, что задачи из Р-класса относятся к практически выполнимым задачам. Здесь следует отметить, что выполнимость задачи или ее принадлежность к Р-классу в рамках теории сложности вычислений не зависит ни от применяемых алгоритмов, ни от быстродействия компьютера. Принадлежность задачи к Р-классу зависит от самой «структуры» задачи: время, необходимое для решения задачи, т.е. для завершения работы алгоритма, растет полиномиально, в зависимости от числа данных на входе машины. К этому классу принадлежит, например, задача проверки на выполнимость произвольной формулы исчисления высказываний. С другой стороны, известная задача о нахождении кратчайшего пути между несколькими городами для коммивояжера не относится к Р-классу, так как каждый из известных методов ее решения требует экспоненциального роста времени.

Теории сложности вычислений были посвящены многочисленные исследования, и в течение нескольких десятков лет развития в этой области были получены значительные результаты. Но в контексте этой работы важны, прежде всего, два момента. Во-первых, то, что понятие сложности может приобрести строгую, формальную интерпретацию. Во-вторых, то, что эта интерпретация связана с динамическим, временным параметром.

Можно сформулировать следующую проблему: насколько широко понимание сложности, характерное для информатики применимо в других областях знания? Иначе говоря, можно ли придавать рассмотренному пониманию сложности, описываемой через длину вычисления и время, более универсальный характер, чем характер понятия специальной, научной теории? Представляется, что данный вопрос требует серьезного рассмотрения. Действительно, с одной стороны, можно сослаться на точку зрения Ричарда Карпа, которую он озвучил в одном из своих интервью. Отвечая на вопрос об отношении между изучением сложности в информатике и других дисциплинах, Р. Карп говорит: «Сложность означает много разных вещей – существует дескриптивная сложность и вычислительная сложность. Алгоритм может быть чрезвычайно сложным в смысле способа его построения и при этом работать очень быстро, так как его вычислительная сложность низка. Таким образом, мы имеем различные понятия о сложности. Мне не ясно, имеют ли в виду одно и то же понятие инженеры-электронщики, экономисты, математики, специалисты по информатике и физики, когда употребляют термин «сложность»» [14, с. 533–534].

С другой стороны, Г. Хакен в работе [4], приведя примеры сложных биологических и физических систем, определяет «универсальное понятие сложности так: «Современное определение сложной системы опирается на понятие алгебраической сложности.... Минимальная длина программы и множества начальных данных (необходимых для построения какой-либо последовательности на универсальной машине Тьюринга – мое, А.М.) служит мерой алгебраической степени сложности» [4, с. 21–22]. И хотя, по мнению немецкого ученого, у этого определения есть уязвимое место, связанное с тем, что проблема нахождения минимальной программы и минимального объема данных не имеет универсального решения (см. [там же]), важным и существенным представляется то, что и здесь находит отражение динамический, конструктивный ас-

пект в содержании понятия «сложность». К тому же в такой интерпретации присутствует смысловое соприкосновение «описательной сложности» и «вычислительной сложности», ибо система, сложная для описания, очевидно, потребует для своего построения более длительной вычислительной процедуры при минимальных исходных данных.

В заключение укажем еще одну точку зрения на проблему того, что следует называть сложной системой. «Сложная система имеет семиотическую (т.е. полноценно языковую) природу информационных связей между подсистемами, в противовес простым системам, где имеется функциональная сигнализация» [17, с. 16]. Авторы цитируемой работы подчеркивают, что сложность обусловлена не количеством элементов системы, а уровнем организованности. Такая интерпретация сложности, в свою очередь, позволяет выдвинуть гипотезу о том, что «для сложных систем характерна возможность поведения, основанного не на заданной структуре целей, а на системе общих ценностей, позволяющих осуществить иерархическую структуру управления» [там же, с. 17]. В соответствии с указанной характеристикой компьютер, очевидно, не может быть назван сложной системой, в то время как биологические и социальные системы сложны. Обратим также внимание на то, что данный подход к пониманию сложной системы объединяет рассмотренные выше точки зрения С. Бира и Г. Саймона.

Подводя итог сказанному выше, выделим, по крайней мере, следующие позиции, в соответствии с которыми какая-либо сущность может быть охарактеризована как сложная. В онтологическом плане сложность связывается со временем образования (конструирования) и внутренней, иерархической структурой, и, как следствие, с вероятностью образования системы случайным образом из исходных элементов. В гносеологическом плане сложность может интерпретироваться как опосредованная интеллектуальная деятельность и способность к порождению семиотических информационных связей. Наконец, в аксиологическом аспекте «сложность» допустимо понимать как способность порождать (устанавливать) ценности и осуществлять на их основе взаимодействие с внешней средой.

Литература

1. Эриксен Т.Х. Тирания момента. Время в эпоху информации. М.: Весь мир, 2003.
2. Эвери Д. Теория эволюции и информация. М. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая термодинамика», Ин-т компьютерных исследований, 2006.
3. Хакен Г. Информация и синергетика. М.: КомКнига, 2005.
4. Бир С. Кибернетика и менеджмент. М.: КомКнига, 2006.
5. Платон Государство / Философия от античности до современности: мультимедийная хрестоматия. М.: ООО «ДиректМедиа Пабблишинг», 2004.
6. Платон Федон / Философия от античности до современности: мультимедийная хрестоматия. М.: ООО «ДиректМедиа Пабблишинг», 2004.
7. Аристотель. Метафизика. / Философия от античности до современности: мультимедийная хрестоматия. М.: ООО «ДиректМедиа Пабблишинг», 2004.
8. Кузанский Н. Сочинения в 2-х томах. М.: Мысль, 1980.
9. Декарт Р. Рассуждения о методе. / Философия от античности до современности: мультимедийная хрестоматия. М.: ООО «ДиректМедиа Пабблишинг», 2004.
10. Саймон Г. Науки об искусственном. М.: Едиториал УРСС, 2004.
11. Гегель. Наука логики. / Философия от античности до современности: мультимедийная хрестоматия. М.: ООО «ДиректМедиа Пабблишинг», 2004.
12. Кук С. Обзор сложности вычислений. / Лекции лауреатов премии Тьюринга. М.: Мир, 1993. С.475–497.

13. Карен Френкель Постскриптум. Интервью тьюринговских лауреатов. / Лекции лауреатов премии Тьюринга. М.: Мир, 1993. С. 525–537.
14. Рабин М. Сложность вычислений. / Лекции лауреатов премии Тьюринга. М.: Мир, 1993. С. 371–391.
15. Карп Р. Комбинаторика, сложность, случайность. / Лекции лауреатов премии Тьюринга. М.: Мир, 1993. С. 498– 521.
16. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. М.: Радио и связь, 1982.