

Информатика и образование № 5, 1988

В. БЕЛОШАПКА

Мир как информационная структура

Стремительное распространение вычислительной техники и связанные с этим качественные преобразования в технологии, управлении, научных исследованиях, образовании и в быту, происходящие в промышленно развитых странах и вовлекающие в свою орбиту все современное человечество, имеют такой масштаб, что говорят о новой промышленной революции. В калейдоскопе ве-
щей, событий и терминов, который предлагается нам, так много любопытных и пугающих новинок: гибкие автоматизированные производства, системы автоматизированного проектирования, персональные компьютеры, банки данных и знаний, компьютеризация образования, автоматизированные системы управления, робототехника, встроенные микропроцессоры, автоматизированные рабочие места, глобальные компьютерные информационные системы, новая информационная технология...

Откуда все это? Почему это происходит сейчас и не происходило раньше? Ассоциации, которые рождает в нас термин «революция», позволяют выделить этот комплекс событий, сконцентрировать на нем внимание, но мало способствуют нашему стремлению уз-
нать смысл и причины происходящего, его исторические корни. А такое понимание, позволяющее увидеть события с общих, инвариантных позиций, нам нужно. Причем в особом положении на-

ходится учитель информатики, который отвечает за формирование представлений о происходящем у сегодняшних школьников. 3

Позвольте, глубокоуважаемый читатель, поделиться результатами размышлений об этом предмете, родившихся из опыта преподавания информатики, как основного курса, так и факультатива.

Начнем с примеров простых и практических. Пусть нам нужно вырыть яму, ну, скажем, чтобы посадить дерево или под фундамент дома. У этой простой задачи есть три аспекта. Первый: нужно изъять какое-то количество земли из одного места и переложить в другое. Эту землю можно охарактеризовать, напри-
мер, объемом (в кубических метрах). Второй: эта работа потребует от нас затрат энергии, которую можно изме-
рить (например, в джоулях). Третий аспект — так сказать, организационный. Ведь яму нужно вырыть в нужном ме-
сте, правильной формы и глубины, иначе придется переделывать.

Конечно, здесь размышлять долго не нужно и основные трудности связаны с собственно рытьем. Но рассмотрим теперь иной пример: завод по производству автомобилей. Здесь опять налицо все три рассмотренных выше аспекта. Действительно, для производства автомо-
билей нужно иметь определенные ве-
щи, очень много вещей: оборудование, здания, сырье, детали и пр. Для того

чтобы привести эту гигантскую совокупность вещей в движение, необходима соответствующая энергия, причем в разных видах: электричество, бензин, газ и т. д. Но чтобы это движение было целенаправленным, а не хаотичным, чтобы действительно в итоге получались автомобили, необходимо продумать организационную сторону дела. Нужно, чтобы нужные вещи попадали в нужное место в нужное время, чтобы с ними производились нужные операции и многое другое. А для этого необходимо, чтобы там, где выполняются те или иные операции (перевозка, обработка, учет и пр.), в нужный момент оказались сведения, или, выражаясь формальнее, информация о том, что нужно сделать. Конечно, вещественный и энергетический компоненты такого производства — это серьезные и важные вопросы, но в последнее время вызрела точка зрения, что именно третий — организационный, структурный, информационный аспект — представляет в таких сложных объектах наибольший интерес, именно здесь следует ожидать наибольших трудностей.

4 Так что же? Значит, все в мире состоит из трех частей? Нет, но на каждый объект можно посмотреть с этих существенно разных и фундаментальных точек зрения.

Итак, выстраивается триада: **вещество — энергия — информация**. Еще раз подчеркнем, что это не три части, на которые мы поделили мир, а три точки зрения на него. Но здесь уместно задать вопрос: откуда взялась информационная точка зрения — ее недавно открыли или она появилась в связи с изобретением компьютера или чего-то еще?

Дело не в изобретении компьютера, хотя в данном круге событий оно играет важную роль. Информационную точку зрения вообще вряд ли можно признать принципиально новой. Видимо, никто никогда не возражал против того, что вещи (объекты) следуют рассматривать как некие целостные совокупности (или, как мы сейчас говорим, системы), состоящие из более мелких частей (элементов); что элементы находятся в определенных взаимных зависимостях

(отношениях) и обладают теми или иными качествами (свойствами, характеристиками); что согласованное взаимодействие частей обусловлено обменом сигналами (информацией), в результате чего вещь остается равной самой себе (сохраняет свою структуру) и т. д.

Такие взгляды не были чужды ни новому времени, ни средним векам, ни античности. Но если все эти особенности системно-информационной точки зрения мы можем увидеть и в прошлом, то лишь в зачаточной или незрелой форме. Речь, если угодно, о познании мира человеком, о степени зрелости этого познания. И этим трем точкам зрения на мир соответствуют три фазы истории человечества. Эти фазы разделяют три промышленные революции, поэтому сначала проследим технологическую линию нашего сюжета.

Первая промышленная революция связана с использованием орудий, приспособлений, инструментов для обработки тех или иных материалов. Это начало активного освоения вещественного компонента мира. Вторая произошла в новое время, когда в промышленности стали использоваться первые двигатели. Это освоение энергетического компонента. Третья же происходит на наших глазах и связана с широким использованием вычислительной техники. Здесь речь идет об освоении информационного компонента нашего мира. Но, как хорошо известно, технологический или инженерный аспект всегда тесно связан с научным. Более того, уместна постановка вопроса о научной базе той или иной промышленной революции.

Обратимся поэтому к научной стороне дела. Начнем с математики (читатель, незнакомый с предметом, может пропустить эти абзацы). За вычетом протоматематической дисциплины — арифметики, к которой генетически восходят все собственно математические дисциплины, и метаматематической дисциплины — математической логики, которая, имея своим предметом саму математику, может быть названа математической лишь с оговорками, остаются геометрия, анализ и алгебра. Они знаменуют три этапа становления всей математики. В самом деле, античной математике

матике геометрический взгляд на вещи был присущ настолько, что даже на такие, по нашим понятиям, негеометрические вопросы, как решение уравнений, греки смотрели геометрически. Греческая математика вполне реализовала все достоинства такой точки зрения и осталась связанной всеми ее ограничениями.

Для математики нового времени характерен расцвет математического анализа. Числовые функции в центре внимания, исчисление бесконечно малых дает мощный метод решения математических и прикладных (механика, физика) задач. Под знаком анализа оказывается вся математика. Геометрия становится аналитической и дифференциальной.

Но вот, возникнув в начале XIX в. из работ Галуа и Абеля, новое, современное направление в алгебре достигает в XX в. грандиозного масштаба, алгебраизируя всю математику. Достаточно отметить клейновскую программу построения геометрии [1] и роль теории непрерывных групп в современном математическом анализе. Аналогия, заключающаяся в сопоставлении рядов

вещество — энергия — информация

геометрия — анализ — алгебра

вполне прозаична: геометрия — это фигуры в пространстве, т. е. вещи и их положение; анализ — это время, это процесс, т. е. энергетика; наконец, современная алгебра — это структуры, отношения и операции, т. е. системно-информационный компонент.

Такой же ряд можно выстроить для каждой зрелой науки, например для физики, но ее сопряженность с математикой хорошо известна, поэтому заметим лишь, что аппарат современной физики — это аппарат теории групп как непрерывных, так и дискретных.

А как просматривается эта параллель в общенаучном контексте? Разным историческим периодам соответствуют различные представления о задаче и цели научного исследования, каждая фаза истории науки кристаллизовала, как сейчас говорят, свою парадигму научного исследования, получавшую свое отражение в языке науки. И если древняя наука понимала свою задачу как

классификационно-описательную (всякой вещи надо было дать имя, установить ее место и свойства), то в новое время, когда математики занимались функциями и зависимостями и происходила вторая промышленная революция, в языке науки центральные позиции заняли такие термины, как развитие, процесс, эволюция. Всякая вещь рассматривалась как процесс становления самой себя, т. е. как совокупность своих функций. В начале же XX в. произошла кризисная перестройка языка науки [2]. Центральные термины нового системно-информационного языка — система, модель, язык, информация, структура, операция, алгоритм, инвариант и т. п.

Таким образом, эта тройственная стандартизированность истории имеет глубинный 5 характер, либо затрагивает основные виды человеческой деятельности.

Говорят, что в капле воды можно узнать океан и малое подобно великому. В качестве последнего примера рассмотрим логику частного научного исследования. Причем для простоты рассмотрим «чистый» случай: в поле зрения исследователя попадает совершенно незнакомый объект. Чтобы разговор был определенее, давайте посмотрим в хороший микроскоп на обыкновенную живую клетку. С чего мы начнем? С внимательного рассматривания этой единственной игры неведомых сил — ведь всякая реальность бесконечно глубока. Вот наш аналитический взгляд начинает различать части, т. е. те детали пейзажа, которые обладают известной устойчивостью. Мы учимся узнавать их, даем им названия — ядро, митохондрия, вакуоль, лизосома, описываем их свойства. При этом совершенствуется техника наблюдений и анализа (микроскопы, подготовка препаратов). Привлекая к использованию новые методы, исследование переходит на новый структурный уровень — биохимический, описываются классы важнейших для клетки соединений: жиры, углеводы, белки, ДНК, РНК. Анализируется биохимический состав открытых ранее органелл.

Постепенно картина проясняется: элементы выделены, описаны их свойства. Перед нами, так сказать, карта местно-

сти. Мы совершили пространственный, описательный анализ объекта. Однако дальнейшие исследования покажут, что объект так или иначе живет своей жизнью и полученная нами статическая картинка носит условный и приблизительный характер. Свойства элементов меняются, среди совокупности этих изменений имеются связи, зависимости — это предмет временного, динамического анализа. Начнем описание внутриклеточных процессов: фаз деления, биохимических циклов и пр.

Но вот, преуспев в анализе динамики, мы устанавливаем некоторые связанные с объектом величины и характеристики, которые сохраняются во всех этих процессах и которые сами определяют всю эту динамику. Мы описываем структуры, ищем инварианты и откры-

ваем законы. Перед нами пропадает структура объекта. Это устройство ДНК, механизм синтеза белков, триплетный код и т. д. Мы как бы возвращаемся к статической картине, но это не та хронотопно-зависимая статика. Это нормативная природа объекта — закон, который им управляет. Мы знаем теперь о клетке неизмеримо больше. Так что же, мы знаем о ней все? Или хотя бы мы знаем о ней самое главное, существенное? Нет, мы не можем так сказать. Это неизвестно. Мы очень мало знаем об управлении активацией генов, о клеточных механизмах дифференцировки тканей. И клетка представляется нам сейчас, пожалуй, более таинственной и загадочной, чем раньше.

Теперь наши рассуждения можно подытожить в следующей таблице.

6

вещество	энергия	информация
геометрия	анализ	алгебра
выделение и описание элементов	исследование динамики	поиск инвариантов и законов
описательно-классификацион-	процессуально-эволюционный	системно-информационный язык
ный язык	язык	
инструмент	механизм	компьютер

Конечно, приведенная таблица не является ни в каком смысле полной. Просто мы попытались на нескольких основных примерах бегло очертировать новую точку зрения, показать ее универсальность и поставить в смысловой и исторический ряды.

Может быть, теперь уместно, в соответствии с названием статьи, набросать величественную картину системно-информационного аспекта мироздания. Наверно, для этого необходимо представить космос, землю, живое, социум, человека как совокупность иерархически соподчиненных систем, пронизанных тонкой сетью вещественных, энергетических и информационных взаимозависимостей, отметив при этом, что все подсистемы этой грандиозной системы обладают структурно обусловленной стабильностью, которая реализуется как внутрисистемная детерминанта поддержания гомеостаза, причем необходимо вычленить все три упомянутых выше аспекта этой адаптивности: вещественную, энергетическую и информационную, отметив при этом имеющуюся

иерархичность, и особо остановиться на информационном аспекте, подчеркнув его доминирующий, главенствующий характер. Развивая эту тему, следовало бы воссоздать грандиозную систему информационных коммуникаций в природе и обществе: каналов, накопителей, фильтров и пр. Но все это уже описано — и у Н. Винера [3], и у С. Лема [4], и в других книгах. Поэтому, напомнив контуры этой панорамы, сделаем несколько замечаний.

1. Все богатство красок и выразительных возможностей, которые щедро демонстрируют нам эти авторы, — это возможности нового системно-информационного языка — языка описания formalizованных моделей, языка, запечатлевшего в себе все основные концепции вызревшей в современном естествознании системно-информационной точки зрения на мир [2].

2. Это концептуальное богатство добыто совместными усилиями многих научных дисциплин. Но новая стадия зрелости освоения мира человеком, новая стадия осознанности этого системно-информационного взгляда на мир

и новая степень зрелости этих языковых средств породила специальную научную дисциплину — информатику, предметом которой и является проработка этих новых модельных представлений о мире, а также исследование и совершенствование языковых средств моделирования.

3. Развитие событий, как мы убедились, шло в направлении, заданном рядом: вещество — энергия — информация, и поэтому имеет смысл еще раз подчеркнуть семантическую рядоположенность этих трех понятий. Для этого рассмотрим некоторую динамическую систему, фазовое пространство которой расщепляется на семейство эквипотенциальных поверхностей. Такую систему можно представлять, как многоэтажный дом, где каждый этаж — горизонтальная плоскость, на которой расположены стулья, шкафы и другая мебель, причем трение отсутствует. В этой ситуации можно данную конфигурацию (расстановку предметов) поменять на любую другую внутри того же этажа, затратив сколь угодно мало энергии, т. е. такой процесс будет обратим в классе чисто вещественных процессов (процессов без совершения работы).

Если же мы сместимся на другую поверхность (шкаф упал на другой этаж: предполагается, что имеются отверстия), то процесс сразу станет необратимым в этом классе. Энергия, выделенная при этом, есть мера этой необратимости. Если вернуть эту энергию, то обратимость будет восстановлена. Итак, энергия — это мера необратимости для вещественных преобразований.

Теперь рассмотрим второе звено: энергия — информация. Напомним: возможность совершать работу за счет среды связана с ее неоднородностью (низкой энтропийностью). При этом обратимые процессы — те, которые эту неоднородность не портят. Если же неоднородность уменьшается, то процесс становится необратимым. Прирост энтропии есть мера этой необратимости. Однако дело здесь не в геометрической однородности (горячие, «белые» частицы газа смешались с холодными, «черными») и вообще не в положении частиц. Покуда есть возможность следить

за трансформацией, необратимости нет. Она возникает в тот момент, когда информация потерялась, наше «зрение» ослабло, картина стала серой и мы не знаем, где что находится. Если восстановить эту утраченную информацию, то процесс опять становится обратимым (в частности, можно собрать «белые» частицы в одной половине сосуда, а «черные» — в другой). Таким образом, информация — это мера необратимости для энергетических преобразований. Аналогичность обоих звеньев стала вполне очевидной, и можно еще раз сформулировать наш тезис: ряд вещества — энергия — информация характеризует три фазы зрелости модельных представлений.

4. Мы далеки от того, чтобы утверждать, что последним, третьим членом ряда заканчивается процесс познания. Более того, мы не решаемся утверждать, что уже открыто самое главное и существенное, хотя порой масштабность происходящего располагает к такому оптимизму. В такие минуты полезно вспоминать, что когда в новое время в связи с промышленной революцией и успехами математики и механики энергетизм в форме механицизма получил широкое распространение, ему придавался именно всеобщий и окончательный характер.

Отметим, что в использовании тех широких и далеко идущих аналогий, к которым так располагает новый системно-информационный язык, нужна известная трезвость. Конечно, вся эта метафорика уместна, плодотворна, незаменима для построения моделей и гипотез. Однако, совершая насильтвенное отождествление объекта с его моделью и переводя наши построения в статус фундаментальных научных положений и, далее, делая их в таком их статусе достоянием культуры, мы совершаем рискованный шаг. Впрочем, в конце концов мы, взрослые люди, разберемся, что к чему. Но на страницах школьного учебника информационный фетишизм недопустим.

5. Течение времени, которое мы рассматривали сквозь призму ряда вещества — энергия — информация, сопровождалось также повышением степени

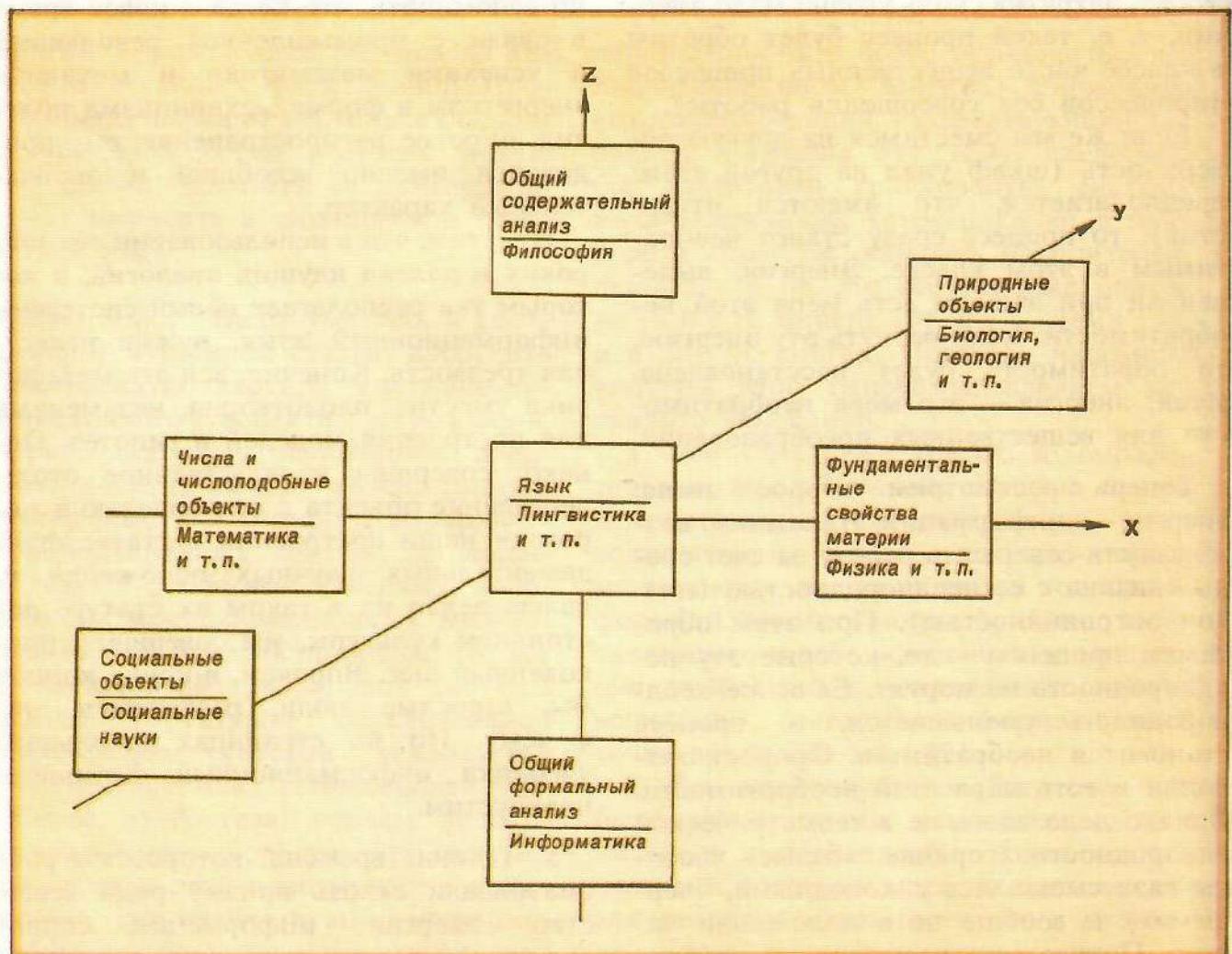
формализованности модельных представлений, повышением формализованности языков этих построений. Если сравнить степень формализованности построений античных авторов и моделей, построенных новыми средствами, этого нельзя не заметить. Однако следует подчеркнуть, что этот параметр находится, по-видимому, в прямой зависимости не только от эпохи, но и от степени зрелости процесса. Вспомним хотя бы представления, развитые древнекитайской медициной. Не останавливаясь на анализе их содержания, отметим, что эти модели (инь-янь, пять элементов и пр.) по степени формализованности и по средствам записи (ориентированные графы) находятся вполне на современном уровне [5].

8 Здесь следует добавить, что степень формализованности значений находится в прямой зависимости с легкостью их отчуждения и обобществления.

6. Как было отмечено выше, основные концепции системно-информацион-

ного языка вызревали в конкретных исследованиях, однако достоинством информатики они стали после обобщения и формализации. Информатика — наука неконкретная, обобщенная. Это ставит ее на одну линию с философией. Именно из-за того, что предметом информатики являются общие закономерности, представители конкретных научных дисциплин так часто отказываются признать за ней статус науки. Впрочем, они отказывают в нем и философии. Это у информатики и философии общее. Однако важно понимать и видеть ту грань, которая разделяет эти дисциплины. Подобно тому как слово имеет два аспекта (слово как смысл и как знак), так и философия и информатика — это два аспекта общего научного взгляда на мир: философия своим предметом имеет общий содержательный анализ, тогда как предметом информатики является общий формальный анализ.

Поучительно найти точку в истории



науки, в которой произошло это расщепление. Мы берем на себя смелость указать ее: это то время, когда западная средневековая философия породила такое направление, как схоластика с ее подчеркнутым интересом к формально-му анализу явлений. Конечно, это не само дифференцирование, а его начало, и современных формального аппарата и технической базы у схоластики не было. Но генетически и структурно аналогия правильная. Схоластика переживала большие трудности в связи с замкнуто-формальным ее характером,— провозглашалось ни много ни мало то, что человеческий разум из ряда положений с помощью формального исчисления способен получить полное знание, в частности все законы природы. Так же и современная схоластика — информатика несет в себе, пока не вполне осознанные, но те же интенции: например, раздаются заявления о скором упразднении конкретной экспериментальной науки средствами вычислительного эксперимента [6].

7. В заключение предложим некоторую классификацию научных дисциплин, которая отражает вышеизложенные соображения о месте информатики. Причем подчеркнем, что имеются в виду именно теоретические дисциплины, тогда как инженерные дисциплины здесь не рассматриваются. На рисунке каждая ось имеет содержательную интерпретацию: $0X$ — это абстрактное — конкретное, $0Y$ — это социальное — природное, $0Z$ — это формальное — содержательное. Точка 0, в которой встречаются все оси,— это язык, в котором запечатлены основные концепции всех дисциплин.

Литература

1. Клейн Ф. Элементарная математика с точки зрения высшей. М., 1987.
2. Белошапка В. О языках, моделях и информатике // Информатика и образование. 1987. № 6.
3. Винер Н. Кибернетика. М., 1983.
4. Лем С. Сумма технологий. М., 1969.
5. Табеева Д. М. Руководство по иглорефлексотерапии. М., 1982.
6. Гелентер Д. Современное программирование // В мире науки. 1987. № 12.