

*В.В. Никитаев*

## **Инженерное мышление и инженерное знание** (*логико-методологический анализ*)

Проблематика инженерного мышления и знания, несмотря на фундаментальное значение инженерии для современной цивилизации, до сих пор остается как бы в тени. Возможно, одна из главных причин этого заключается в отсутствии у философского дискурса по темам инженерии *собственных* оснований. Нередко инженерное мышление и знание рассматриваются как эпифеномены приложения науки, что приводит в результате к существенной редукции радикальных различий между инженерией и наукой. Философия техники, под углом зрения которой как правило осуществляется анализ, также представляется не вполне адекватной для данных целей, хотя бы на основании различения *инженерии* как сферы практики и *техники* как совокупности артефактов и способов действий (см., в частности, [1]). Отсюда, в том числе, следует, что техническое знание – лишь один из компонентов инженерного [2].

В данной статье мы подойдем к вопросам инженерного мышления и знания как бы с другой стороны – со стороны анализа инженерного мышления как *практического мышления*. В качестве примера будем иметь в виду работы Христиана Гюйгенса по маятниковым часам (в первую очередь, знаменитый мемуар 1673 г. “О маятниковых часах”), – работы, заложившие основы инженерного метода Нового времени [3].

Обозревая более чем тридцатилетнюю деятельность Гюйгенса в этом направлении, трудно удержаться от мысли, что за ней стоит определенная организация сознания, некая *стратегия*. Вспомним историю создания механических часов с маятником ([4], [5], [6]). В XVI–

XVII вв. сложились две ситуации, настоятельно требовавшие точного измерения времени. Одна из них была связана с астрономическими наблюдениями, которыми занимался и сам Гюйгенс на протяжении всей своей жизни. Вторая была порождена необходимостью определения местоположения корабля в дальних морских путешествиях, именно – долготы. Последняя проблема приобрела за время развития морской торговли и судоходства такую остроту и значимость, что правительства почти всех западноевропейских стран назначили за ее решение солидное денежное вознаграждение. За разрешение этой проблемной ситуации брались лучшие умы Европы, не исключая и самого Галилея.

**Механические часы** как система зубчатых колес с опускающимся грузом были известны уже с XII века; но они были неточны, требовали постоянно присмотра и ежедневной настройки по солнцу. Главная трудность, с которой столкнулся Гюйгенс, замисливший использовать в обеих ситуациях для измерения времени механические часы – это обеспечение равномерности их хода. Решение, которое он нашел, заключалось в регулировке хода часов посредством маятника, колебания которого поддерживались тем же движением (опусканием груза), которое обеспечивало и вращение зубчатых колес часового механизма. Гюйгенс, в отличие от Галилея, уже знал, что изохронность колебаний имеет место только для малых амплитуд, а при больших период колебаний увеличивается в прямой зависимости от амплитуды.

Гюйгенс решил компенсировать увеличение амплитуды уменьшением длины маятника, для чего нить подвеса должна была прилегать к специальной пластине. К первым, запатентованным в 1657 г., часам форму компенсирующих пластин Гюйгенс подбирал путем “проб и ошибок”, что, конечно же, было недопустимо в массовом производстве часов, поэтому описанные им в 1658 г. часы были “простыми” (без пластин), с ограничителем амплитуды. Однако в 1659 г. он установил, что такая популярная в то время среди математиков кривая, как циклоида, является **тавтохроной**, т.е. если маятник движется по циклоиде, то время качания не зависит от амплитуды. Следовательно, оставалось определить, какую форму должна иметь компенсирующая пластина, чтобы чечевица маятника двигалась бы по циклоиде. Ею оказалась все та же циклоида. Гюйгенс окончательно предлагает конструкцию маятникового регулятора с компенсирующими пластинами и указывает простой, доступный любому часовщику метод определения их формы.

Таким образом, задача точного измерения времени в астрономических наблюдениях была решена. Но в ситуации морского плава-

ния, ко всему прочему, необходимо было устранить влияние качки корабля на колебания маятника. Многолетняя работа Гюйгенса в этом направлении к успеху не привела.

Предполагая наличие у Гюйгенса определенной *стратегии мышления* и размышляя с этой точки зрения над историей создания маятниковых часов, мы можем, в известном смысле, выяснить основные черты стратегии *инженерного мышления вообще*.

В самой общей форме *стратегия* выступает как последовательность шагов (итераций), для каждого звена которой характерно следующее.

Во-первых, наличие *критической ситуации* (ситуаций), ее анализ и постановка применительно к ней определенной *цели*.

В случае Гюйгенса мы видим две исходные проблемные ситуации. И в одной и в другой требуется точное измерение времени, т.е. последовательный, непрерывный отсчет равных промежутков времени. После принятия решения об использовании *механических часов* ситуации изменяются; соответствующему преобразованию подвергается и цель: теперь необходимо добиться равномерного механического движения стрелок по циферблату. Заметим, что хотя и ситуации и цели трансформируются на каждом шаге, но эти изменения связаны определенной *преemptивностью смысла*, лежат в известных рамках.

Во-вторых, *конструирование* (последовательное построение конструкции) как способ и *конструкция* как средство преобразования ситуации.

Гюйгенс начинает конструирование с объединения механических гиревых часов с маятником, который должен обеспечивать равномерное дискретное движение коронного зубчатого колеса; поскольку же движение маятника само по себе затухает, то он вводит в конструкцию связь маятника с “источником энергии” часов – опускающимся грузом; амплитуда колебаний механически связывается с длиной маятника посредством циклоидной пластины, к которой прилегает нить подвеса, тем самым изменяя точку подвеса, и т.д.

В качестве третьей наиболее общей черты стратегии нетрудно заметить наличие или определение “по ходу” *априорных положений*, в соответствии с которыми осуществляется изменение ситуации. Причем, это может быть априорность в самом широком смысле, допускающая включать в состав этих положений “законы природы”, разного рода аксиомы, культурные нормы деятельности, методы мышления и принципы мировоззрения. Одним словом, разного рода постулаты, аксиомы, нормы, правила и принципы в составе “априорных положений” априорны *функционально* (по своей функции в структуре стра-

тегии): они берутся как внеситуативные, не подлежащие проблематизации в рамках данной стратегии знания и установки.

В качестве своего рода порождающей схемы стратегического мышления рассмотрим следующую логико-лингвистическую схему:

*Для того, чтобы Р, если S, при том, что вообще Q, то R (иначе T),*

где Р обозначает цель, S — ситуацию, Q — априорные положения, R и T — действия; причем часть “иначе T”, вообще говоря, может быть явно не указана (предполагаться “по умолчанию”).

Под словами “порождающая схема” подразумевается, что можно помыслить такое положение дел (*возможный мир*), при котором полученный реально результат мог бы быть получен в соответствии с данной схемой, ее применением. Например, рассуждения могли бы начинаться так: “Для точного измерения времени в ситуации астрономического наблюдения, при том, что вообще существуют различные виды часов: песочные, водяные, механические..., возьмем механические часы”.

Чтобы яснее очертить основные логические особенности стратегии сравним ее с алгоритмом. Логико-лингвистическая порождающая схема шага *алгоритма*, как известно, имеет вид:

*Если S, то R (иначе T).*

Всякий хорошо определенный алгоритм основан на возможности заранее, при составлении алгоритма, предусмотреть все ситуации, которые могут сложиться при реализации этого алгоритма, и для каждой из этих ситуаций указать, во-первых, отличающие ее от других ситуаций ясные и однозначные признаки и, во-вторых, конкретное, практически осуществимое действие. Для того, чтобы определить следующий шаг реализации алгоритма надо лишь оценить, как правило, по достаточно формальным (внешним) признакам, текущее состояние и, быть может, учесть предысторию этого состояния; если это делать правильно, то алгоритм с неизбежностью и за конечное число шагов приведет исполнителя к предзаданному, хотя бы и не известному самому исполнителю заранее, результату. В этом смысле, всякий алгоритм есть своего рода автоматизация выбора средств достижения предопределенной цели; при этом, предопределенность цели есть, как правило, просто следствие, или другое выражение, типичности исходной ситуации. По-сути, в данном абзаце описаны три базовых свойства любого алгоритма: детерминированность, эффективность и массовость.

**Стратегия** отличается от алгоритма прежде всего явным включением в свою структуру процесса **целеобразования**; в схеме это выражено конструкцией “для того, чтобы P, если S, при том, что вообще Q”. Это проистекает оттого, что стратегия нужна не для “массовых” ситуаций, где можно обойтись стереотипами и алгоритмами, — но для **проблемных ситуаций**. Иными словами, в стратегии необходимо постоянно рефлексировать свои ценности, представлять себе цель (целевую ситуацию) и ту дистанцию, которая отделяет текущую ситуацию от конечной, целевой, и раз за разом решать задачу (а чаще **проблему**, еще одну “в дополнение” к исходной, т.е. к источнику проблемной ситуации) согласования ценностей, целей и средств.

Далее, для алгоритма его **разработка** и **реализация** разделены как разные фазы и даже типы деятельности. Для стратегии же такое разделение не имеет смысла (если не сказать: принципиально невозможно): **стратегия разрабатывается и осуществляется одновременно**. Стратегия всегда стратегия-в-ситуации; она тем эффективнее, чем лучше учитывает индивидуальные особенности ситуации — для чего и требуется именно **анализ ситуации**, а не просто ее оценка, — а потому стратегия не может быть просто репродуцирована, повторена, даже если и поставить такую задачу, но всегда требует поиска, **творческой** доработки, импровизации.

Реализация алгоритма, как видим, строится на оценке настоящего и (иногда) знания прошлого, а стратегии — на анализе настоящего и (обязательно!) предвидении будущего. Анализ ситуации в стратегическом мышлении — это прежде всего **анализ возможностей**. Например, какие есть **возможности**, с точки зрения механики XVII в., реализовать равномерное механическое движение? Ответ: с помощью так называемого математического, или в терминах Гюйгенса “простого”, маятника (уже Галилей применял его в своих исследованиях). К чему приведет использование маятника в механических часах? К тому, что по разным причинам (Гюйгенс, кстати, их перечисляет в своем мемуаре) колебания маятника **могут** оказаться то больше, то меньше.

Следующее отличие стратегии от алгоритма — компонент априорных положений Q. Не то чтобы алгоритм исключал использование априорных правил и принципов, но это использование чаще всего неявное, без их экспликации и анализа. Кроме того, как мы уже видели и еще увидим в дальнейшем, роль, объем и сложность компонента Q в случае стратегии значительно больше, чем для алгоритма.

Разумеется, между стратегией и алгоритмом есть не только радикальные различия, но и сходство: главным образом, это процедурный характер и конструкция выбора “если-то-иначе”. Вообще, с учетом

всего вышесказанного, алгоритм можно трактовать как *след* стратегии, как ее пост-редуцированную и приспособленную к массовому повторению форму.

Итак, будем рассматривать логико-лингвистическую схему (шага) стратегии как представление (фазы) процесса мышления.

Прежде, чем перейти к обсуждению инженерного знания, обратим внимание на то, в инженерном (стратегическом) мышлении процесс актуализации научного знания (“при том, что вообще Q”) *нестирован* (вложен, “лежит в рамке”) в другие мыслительные процессы, обеспечивающие привязку данных знаний к ситуации, их *приложение*. Отношение *нестирования* процессов означает их взаимную детерминацию, а именно: рамочный (объемлющий) процесс предполагает (требует с необходимостью) для своего осуществления одновременное протекание нестированного (вложенного) процесса; осуществление нестированного процесса сопровождается совершением рамочного, при этом, хотя нестированный процесс *per se* может осуществляться и сам по себе, но внутри рамочного он приобретает особую определенность. Отношение нестирования есть одно из трех процессуальных отношений; остальные два — это *следование* и *независимость*. Исходя из категориально-логических соображений можно показать, что перечисленные отношения являются фундаментальными, т.е. образуют базис любой системы процессов (это же можно доказать на математической модели “процессуального мира”).

Далее нам понадобятся три предварительных соображения о соотношении мышления и знания: (1) знание служит условием возможности репродуцирования процесса мышления *как* мыслительной деятельности; (2) в системе процессов мышления знание может соотноситься (в указанном выше смысле) как с отдельными процессами, так и обеспечивать связь этих процессов между собой; (3) каждой форме процесса в системе и каждой форме связи процессов мышления соответствует свой тип знания.

Из этих трех положений, собственно, и вытекает тот метод, которым мы будем изучать структуру инженерного знания на основе логико-лингвистической схемы стратегии как схемы процесса инженерного мышления. Именно, исходя из условия репродуцируемости необходимо “покрыть знанием” всю схему стратегии; это целостное знание назовем *“инженерным знанием”*. В соответствии с двумя другими положениями необходима декомпозиция инженерного знания по процессам и связям процессов, т.е. как бы “зонирование” схемы, в результате чего должны остаться *однородные* (относительно процессов мышления) единицы, или *типы*, знания. Выделять же эти зоны

следует таким образом, чтобы в каждую из них входил компонент “вообще Q”, как актуально или потенциально конституирующий знание (в полноте его свойств, в том числе, возможности сообщения, переноса в другие ситуации и обобщения). Естественно, что при этом априорные положения должны быть специфическими для каждого типа знания, т.е. компонент Q также декомпозируется на составляющие. Наконец, для наших целей, очевидно, будет достаточно ограничиться рассмотрением двух последовательных шагов стратегии.

Начнем с относительно более простого (структурно) и, в известном смысле, более изученного случая как бы чистой актуализации априорного компонента Q в общей (не детализированной) рамке процесса инженерного мышления. Это означает, что соответствующее знание покрывает только зону “*при том, что вообще Q*”, может актуализироваться – как знание – и само по себе (а также в других рамках), но будучи воплощено в нестированный процесс должно иметь специфические, *инженерные*, черты. Какое знание отвечает таким требованиям? Ответ нетрудно найти, поскольку претендовать на данное место могут только *математическое* и (также математизированное) *естественнонаучное знание*.

Части мемуара (вторая, третья и четвертая) “О маятниковых часах”, в которых развивается теория механического движения, занимают в его объеме такое место, что может сложиться мнение о центральной роли, которую вообще играет естественнонаучная теория в инженерии уже с времен Гюйгенса. Однако, если учесть прагматику текста (в частности то, что такого рода тексты изначально были адресованы в первую очередь ученым) и степень развития средств рефлексии и описания (в том числе то, что не натурфилософское или естественнонаучное знание пока еще очень мало рефлексировалось и не имело адекватных средств теоретизации), то это впечатление исчезнет. И сам Гюйгенс пишет во введении: “*Для применения моего изобретения с маятником мне необходимо было установить новую теорию*” (выделено мной - *В.Н.*). Заметим, он не пишет: “Я установил новую теорию, одним из приложений которой стало изобретение маятникового регулятора”, но сначала – применение изобретения, а потом – “установить новую теорию”.

Обратим, в частности, внимание на то, как Гюйгенс исследует циклоиду. *Циклоида* была открыта Галилеем в конце XVI в.; в 1634 г. Робервиль, а через несколько лет Декарт и Ферма вычислили площадь ее арки, они же, а также Вивиани и Торичелли дали различные методы построения касательной к циклоиде. В 1658 г. Паскаль объявил конкурс среди европейских математиков (Гюйгенс также принял в нем

участие), выставив шесть задач на вычисление площадей, объемов, центров тяжести поверхностей и тел вращения, возникающих при замене основания циклоиды произвольной параллельной секущей [5, С. 81–82]. Таковы задачи и таков подход “чистой науки” к циклоиде. Гюйгенс подходит к циклоиде в духе *прикладного исследования*. Его интересует *движение весомерной точки по циклоиде*, обращенной вершиной вниз, т.е. вопрос, по сути, стоит о соответствии определенного естественного процесса заранее заданному (целевому) свойству. Решение данной задачи он начинает с самых общих постулатов физики и следствий из них, определяющих в совокупности идеальный объект теоретической механики и его свойства. Но доказательство всякого “фундаментального” утверждения выступает в работе Гюйгенса как шаг в направлении получения *прикладных* результатов.

Рассмотрим теперь следующую структурную зону стратегии:

*если S, при том, что вообще Q, то R.*

В первом приближении, речь идет о связи ситуации S с решением R, при том, что нам как бы *дан* набор возможных *вообще* решений Q. В инженерии, как отмечалось выше, преобразование ситуации осуществляется посредством и в форме *конструкций*, т.е. решения носят характер конструирования и конструкций. Следовательно, в этом процессе мышления устанавливается связь между ситуацией и *конструктивным решением*. Какое же знание соответствует этому процессу?

С одной стороны, в той мере, в какой конструктивные элементы (конструкции) рассматриваются так, как если бы они уже существовали сами по себе, так сказать, *естественно*, как *данные*, — а значит, как *объекты* — соответствующее знание может быть построено по образцу естественнонаучного. Однако, поскольку объекты этого знания носят все же искусственный характер и принадлежат не природе как таковой (“первой природе”), но технике, то такое знание неизбежно приобретает свою специфику, из-за которой следовало бы назвать данный тип знания — знания о конструкциях, как если бы они были естественно существующими объектами — *естественно-техническим знанием*. Таким образом, естественно-технические знания суть знания о *свойствах* конструкций и связях этих свойств. Среди этих свойств находятся и те, которые становятся *функциональными свойствами* объекта, когда он включается в структуру действующей его конструкции. Сюда попадает и связь морфологии и функционирования (как они трактуются, например, в [7]), если морфология рассматривается как *естественное строение* артефакта, а функционирование — как *естественное действие*.



С другой стороны, решение R — это *действие*, изменяющее проблемную ситуацию S, и если это изменение заключается в создании конструкции, позволяющей так или иначе снять проблемность, то соответствующее знание должно быть знанием о связи действий и технического объекта, т.е. процедур конструирования и получаемой в результате них конструкции. В оппозицию естественно-техническому знанию данный тип знания следовало бы назвать “искусственно-техническим”, но, так как в данном случае именно конструирование выступает в качестве “искусства”, будем называть этот тип *конструктивно-техническим знанием*.

Конструктивно-техническое знание, таким образом, есть знание о единстве конструирования и конструкции. В том числе о том, *каким образом* два технических объекта с известными свойствами могут образовать связь (объект-связку), обладающую в своем единстве требуемыми свойствами, т.е. реализующую заданные функции (назначение) и отвечающую при этом ряду необходимых требований-ограничений. Можно утверждать и так, что конструктивно-техническое знание — это знание о связи структурных изменений и действий (функционирования), но следует учесть, что поскольку при структурном преобразовании объект оперирования, вообще говоря, не сохраняет своей самотождественности (т.е. вместо одного объекта получается другой), то это все равно будет знание не о свойствах объекта, но *о свойствах структурного преобразования, т.е. о конструировании*.

Для уточнения содержания обсуждаемых типов знаний и характера их взаимодействия в инженерном мышлении нам необходимо сделать несколько замечаний по вопросу типологии связей (отношений) и структур. Под инженерным углом зрения можно различить процессуальные, конструктивные, морфологические и функциональные связи (отношения) и структуры (в отличие от других исследователей, например [7], мы будем различать конструкцию и морфологию). Прежде всего, если иметь в виду, что *связь* всегда означает соответствующую *передачу* (вещества, энергии и т.д.), то следует заметить, что связи, в строгом смысле, могут быть только процессуальными и конструктивными (они же и отношения), а морфологические и функциональные — только отношения.

О *процессуальных связях (отношениях)* было сказано выше. “Естественный” взгляд на некоторый объект и есть, собственно, такой, который предполагает, что существенные (субстанциальные) свойства объекта связаны друг с другом некоторым *естественным процессом*. Инженерии естественные процессы интересны, разумеется, не сами по себе (с точки зрения “сущности”), но *как действия* или “эффек-

ты”, т.е. как то, что может обеспечить нужный результат, “оказаться эффективным”. Например, естественные (свободные) колебания маятника заслуживают внимания с точки зрения способа организации такого управляемого периодического движения, которое может быть передано, преобразовано и использовано.

**Конструктивные связи** являются, по сути, связями организации и управления естественными процессами. Они есть связи *par excellence* или, иначе, **конструкция** представляет собой овладение принципом связи-связывания как таковым. Поэтому конструкция всегда — “искусственный” взгляд, взгляд организации и управления, а с точки зрения существования, как артефакт, — материализованная (воплощенная в *материале*) система конструктивных связей. Так, **маятник** в часах представляет собой конструктивную связь движения под действием силы тяжести и движения под действием силы натяжения из неравновесного состояния, результатом (эффектом) этой связи является колебательное движение маятника как элемента конструкции; **анкер** — элемент конструкции, реализующий связь колебаний маятника с вращением зубчатого колеса, в результате чего непрерывное вращение колеса становится дискретно-периодическим, и т.д.

**Форма**, в значении “морфе” (как “внешний вид”), — это всегда форма в том или ином **пространстве** (обычно, в визуальном или эмпирико-геометрическом). Основополагающий признак формы — **целостность**; пока нечто не дано как целое, нельзя с уверенностью говорить о его форме. Если это превратить в принцип, то **форма** суть то, что определяет существование чего-либо как целого в некотором пространстве (соответственно, **материал** — это то, что сохраняет, удерживает данную определенность). Следовательно, поскольку исходным отношением формы служит отношение к пространству, **отношения форм** суть отношения артикуляции или **организации** пространства.

Итак, форма определяет существование всего, что существует в пространстве; в том числе, элемента конструкции и сочетания конструктивных элементов. В этом смысле, **конструкция реализуется в комбинации (композиции) форм**. А поскольку форма не только определяет существование, но и выражает смысл и содержание, то конструкция при этом еще и **выражается**. Выражается, однако, в “языке реализации”, который, вообще говоря, может выражать многое, главным образом — кроме конструкции — **способ изготовления и материал**. Если (в той мере, в какой) этим способом служит конструирование, форма **непосредственно** выражает конструкцию и является **конструктивной формой**. Однако, во-первых, способ (технология) никогда не бывает тотально конструктивным (всегда необходим некоторый

набор *исходных* форм, полученных не конструктивным путем). А во-вторых, форма противоположна конструкции в том смысле, что конструкция соединяет, связывает, а форма, *прежде всего*, — разделяет, разграничивает. Это означает, что в любом случае композиция форм не тождественна конструкции.

*Морфология* как оформленный материал, хотя предназначена и реализует конструкцию, но обладает собственным, квазиестественным существованием — потому морфологию можно анализировать и изучать *саму по себе*. Взятая, как это принято в традиционной инженерии, в эмпирико-геометрическом пространстве, она реализует и выражает конструкцию в системе более или менее стандартных *деталей и узлов*. Так, маятник обычных часов состоит, как минимум, из двух деталей: чечевицы и стержня, как бы *разделяющих* те два движения, которые соединяются конструктивной связью (чечевица “берет на себя” весо-мость, а стержень “обеспечивает” натяжение).

*Функция*, с одной стороны, есть выражение отношения элемента к целому и может трактоваться как *место* (“функциональное место”) в структуре — конструкции связей или композиции (комбинации) форм — целого, которое занимает данный элемент, или как *роль*, т.е. способ участия в общем процессе (“функциональная роль”). С другой стороны, функция рассматривается как характерный способ действия элемента и, тем самым, выступает искусственным модусом естественного процесса. Потому и под “функционализированием” понимается не что иное как протекание структурно и материально заданной конфигурации процессов. Функция как общее (абстрактное) выражение *целесообразности* служит, следовательно, как бы “точкой встречи” (описаний) процесса, конструкции и морфологии, “всеобщим эквивалентом” их обмена друг на друга.

Таким образом, естественнонаучное знание описывает естественные процессы и в плане инженерного мышления условно может быть представлено как “естественное → научное”; естественно-техническое (естественное → техническое) описывает соотношение естественных процессов и морфологии, включая сюда и те свойства, которые могут быть функционализированы; а конструктивно-техническое (конструктивное → техническое) — соотношения и взаимопреобразования функций, конструирования и конструкции.

Будучи знанием о связи особых действий и их результатов, конструктивно-техническое знание, на самом деле, не только обеспечивает процесс “Если S, то R”, но и поддерживает переход “Если S и R, то S'”, где S' — обновленная ситуация, требующая нового шага стратегического мышления. Следовательно, конструктивно-техническое

знание *артикулирует* стратегию, т.е. и связывает, и расчленяет (поскольку действия R и R' – как действия *конструирования* – дискретны относительно друг друга). И наоборот: если реализация стратегии оказалась успешной, то конструктивно-техническое знание может быть получено рефлексией над последовательностью (связью) ее шагов. Иначе говоря, *упорядочивание* инженерного мышления задается именно логикой конструирования – значит, конструктивно-техническим знанием, – а не логикой естественнонаучного, хотя бы и прикладного, исследования (следовательно, и *не* естественно-научным знанием). Вообще, если понимать конструкцию как средство организации и управления естественными процессами, то ведущая роль конструирования в инженерии становится предельно ясной.

Полное техническое знание получается сочетанием естественно-технического и конструктивно-технического типов знаний и составляет главное содержание технических наук. При этом в *классических технических науках*: теории машин и механизмов, гидравлике, теоретической электротехнике и т.д., – естественно-технический тип превалирует, а конструктивно-техническое попадает не целиком, но как бы своей *проекцией*. Происходит то, что уже упоминалось как эффект системы или рамки, а именно, переход от инженерной рамки к рамке технической науки связан со своего рода “заменой системы координат”, в том числе, с иной типологической декомпозицией технического знания. Примерно то же, кстати, происходит и с естественнонаучным знанием: если в инженерном мышлении оно задействовано в форме прикладного исследования, то в технической науке естественнонаучное знание (“знание о естественном процессе”) используется в качестве теоретического обоснования, т.е. в целях обобщения и систематизации, подведения единого – физического и расчетного – основания под то или иное многообразие технических устройств. Применительно к конструктивно-техническому знанию указанная “проекция”, попадающая в техническую науку, представляет собой *схемно-структурный аспект конструирования* (особенно хорошо это видно в теории машин и механизмов). В эту “проекцию” не попадают два компонента *полного* конструктивно-технического знания: во-первых, тот, который актуально обеспечивает связь шагов стратегии, т.е. говорит о том, каким должен быть следующий шаг для достижения поставленной цели; а во-вторых, тот, который определяет *процедурно-реализационный* аспект конструирования (субстанциально это может быть иногда одно и то же). Первый, вообще говоря, до сих пор осуществляется как *опыт, мышление* или *инженерное искусство*, а второй – интенсивно и систематически разрабатывается *технологией*.

Конструктивно-техническое знание позволяет “прочитать” объект как конструкцию, а конструкцию — как результат конструирования. В случае Гюйгенса это означало усмотреть, что билянцевый регулятор может быть отсоединен от часов и вместо него присоединен маятник с вилкой, причем таким образом, что находящиеся в пользовании часы старой конструкции можно будет сравнительно просто переоборудовать по новому образцу.

Таким образом, среди рассмотренных типов знаний ведущим в инженерном мышлении является конструктивно-техническое знание.

То, что конструктивно-техническое знание не всегда имеет явное выражение и, тем самым, как бы не занимает достойного, отвечающего его ведущей роли в инженерии, места объясняется не только уже упоминавшемся дефицитом средств рефлексии и теоретического описания. Дело в том, что вообще существует фундаментальное соотношение, которое можно назвать “*принципом взаимоопределимости конструирования и конструкции*”, согласно которому не только конструирование однозначно определяет конструкцию как свой результат, но и наоборот (хотя и не всегда однозначно): с конструкции может быть “считан” способ ее конструирования (создания). Подчеркнем, что речь идет о *создании*, а не просто об *изготовлении*. Возможность изготовления технического артефакта обеспечивается (в эпистемическом плане) *практико-методическим знанием*. Собственно говоря, на протяжении тысяч лет конструктивно-техническое знание и существовало как практико-методическое, при том, что последнее включало в себя и то знание, которое было названо “естественно-техническим”. Главным образом, этому способствовали статичность, традиционность и отнесенность простота конструкций.

Действительно, продумывание (проектирование) и прочтение (анализ) конструкции наиболее просто осуществляется в случае статичных, например строительных, конструкций. Такая конструкция представляет собой не что иное как “материализованную геометрию”, т.е. она полностью выражена своей формой в обычном трехмерном пространстве и свойствами материала. Но уже в случае движущихся механических конструкций, т.е. *механизмов*, с “очевидностью” возникают сложности. Множество примеров тому дает бурная история *perpetuum mobile*, подавляющая часть конструкций которых “визуально” (особенно в проекте, на чертеже) чрезвычайно убедительны. Происходит это оттого, что на самом деле *конструирование механизмов осуществляется в фазовом пространстве*, которое определяется координатными осями перемещений и скоростей, или в фазовом пространстве, расширенном осью времени. Внешняя же форма конструкции и

трехмерном эмпирико-геометрическом (физическом) пространстве есть лишь одна ее (конструкции) проекция. В самом деле, базовыми понятиями теории машин и механизмов, опирающейся на аппарат теоретической механики, служат понятия *звена*, *кинематической пары* — соединения двух звеньев, накладывающее определенные ограничения, называемые “условиями связи”, на их взаимное движение, и *механизма* как устройства для передачи и преобразования движения.

Если с этой точки зрения подойти к работе Гюйгенса, то можно увидеть в ней первые шаги освоения нового пространства мышления. Возьмем, в частности, ту задачу, которой уделено наибольшее место в мемуаре — задачу определения формы, компенсирующей пластины. Что это означает в плане конструирования? Ответить нетрудно: эта форма есть геометрическое представление условия связи конструктивных элементов: пластин-ограничителей (неподвижное звено механизма часов) и подвеса маятника (движущееся звено); форма (связь) должна быть такой, чтобы колебания чечевицы маятника были изохронными вне зависимости от амплитуды. Решая данную задачу, Гюйгенс пользуется двумя системами координат: “перемещение — время” и “скорость — время” (в совокупности они как раз задают расширенное фазовое пространство), связывая их между собой посредством того, что площадь под графиком в одной системе равна координате перемещения в другой. Важно заметить, что при этом Гюйгенс использует математику в разработке конструкции иначе, чем инженеры предшествующих веков. Прежде математика применялась только для *геометрического синтеза* (построения плана) конструкции (см., например, [9]), а Гюйгенс использует ее в данном случае *аналитически* — для определения свойств конструкции.

Именно вызванная усложнением машин необходимость *мыслить конструкцию абстрактно*, в пространстве многомерном или лишнем наглядности, а также потребность в массовом порядке отвечать на вопрос *о существовании* артефакта, привели к двум следствиям. Во-первых, к артикулированию конструктивно-технического и естественно-технического знаний в форме *технической науки*. И, во-вторых, к конституированию в составе инженерии процесса *проектирования*. Проектирование отвечает на вопрос о том, как возможна конструкция, реализующая определенное действие. Поскольку сублимированное в техническую науку конструктивно-техническое знание — как и всякое научное знание — рефлексивно и, следовательно, адекватно только в “зоне ближайшего развития” прототипа, то именно проектирование призвано обеспечивать разработку в тех случаях, которые

уже не поддерживаются (по меньшей мере, с требуемой степенью надежности) наличным конструктивно-техническим знанием.

Но вернемся к стратегии и обратим внимание на то, что конструктивно-техническое знание в качестве предварительного условия своего применения нуждается в заданности осуществляемых будущей конструкцией *функций*, включая *назначение* как главную функцию, — они должны быть известны (на соответствующем уровне определенности) и выражены в техническом “языке разработчика”. Очевидно, однако, что это не есть отправная точка инженерного мышления - и стратегияльный шаг начинается с зоны

*Для того, чтобы P, поскольку S, при том, что вообще Q.*

В данной формулировке “если S” заменено на “поскольку S” для большей семантической адекватности, так как дело касается анализа наличной ситуации, а не гипотетической (условной). В данном случае (в отличие от алгоритма) это очень существенно, поскольку речь идет о *проблемной ситуации*, которая может быть предметом анализа в ходе стратегияльного размышления только как живое (актуальное) единство человека (человеческого сообщества) и всех его (их) обстоятельств, т.е. состояния “среды”. Сам анализ при этом носит *рефлексивный* характер, а значит, так или иначе касается взаимного отношения человека и производимых им объективаций и действий, и направлен на выявление *возможностей ситуации*.

Априорные положения в данном случае выступают в качестве ограничений, которые накладываются на постановку целей и служат своего рода критерием, отделяющим допустимые (реальные, разумные) возможности от недопустимых. *Законы природы* в этом плане, вообще говоря, не являются безусловными априорными положениями, поскольку инженер “создает такие условия, при которых естественные процессы протекают противоположным путем” [10, С. 109]. Потому *ценности* гораздо априорнее, если можно так выразиться, “законов природы” и имеют в стратегияльном мышлении большее значение. Так или иначе, но мышление в данном процессе движется в *гуманитарном плане*. Главное, что достигается данным процессом мышления — это определение границ ситуации и конституирование форм их мыслительного удержания, в результате чего обеспечивается *смысловая связность* (осмысленность) всей стратегии от начала до конца, до разрешения проблемной ситуации.

В частности, *граница инженерного подхода* или, условно говоря, граница “инженерности” ситуации выражает себя в характере целей:

цели должны быть *техносообразными*, допускать свое достижение техническими средствами.

*Социальная граница* ситуации — в том, что средства должны быть *социально доступны и оправданы*, а результаты — *социально значимы*. Она выделяет актуальные контексты затребованности и возможные контексты употребления будущего артефакта и, тем самым, позволяет установить некоторые внешние, “пользовательские” характеристики конечного результата разработки.

Возможно, самая труднопреодолимая — в силу ее “естественности” — граница устанавливается актуализацией *рамок культуры*. Будущий артефакт, с одной стороны, как бы встраивается в ряд более или менее далеких аналогов и прототипов, а с другой, соотносится с системой культурных норм, определяющих устойчивые (традиционные) отношения жизненного мира. Эти рамки также, и даже главным образом, детерминируют способ действия — через его отношение к культурным нормам, ценностям и “духу эпохи”.

Социальные и культурные границы более или менее полно конституируют *смысловую структуру* артефакта. Однако, чтобы “уложиться” в границы инженерного подхода необходимо транспонировать смысловую структуру в *технические требования*. Соответствующее знание можно назвать *“гуманитарно-техническим”*, исходя из того, что оно должно обеспечивать перевод гуманитарного (вообще человеческого, здоровомысленного) понимания ситуации и ее проблемы — в плоскость техносообразных и непосредственно технических функций и характеристик.

Подобно тому как естественно-техническое знание связывало естественнонаучное и конструктивно-техническое знания, гуманитарно-техническое связывает гуманитарное знание с конструктивно-техническим. Но есть и различие, поскольку гуманитарное знание детерминирует не только содержание конструктивно-технического (через определение внешних функций конструкции), но и форму его реализации, т.е. форму процесса конструирования. К примеру, Гюйгенс считал для себя необходимым теоретически определить форму пластины, а не остановиться на ее эмпирическом нахождении (как это сделал бы ремесленник). Казалось бы, устройство объективно остается тем же самым — однако смысл другой: появилось “человеческое измерение”, т.е. удовлетворена фундаментальная потребность понять, сделать ясным и доступным для любого более или менее образованного человека, по меньшей мере, в расчете и изготовлении.

Гуманитарное и гуманитарно-техническое знание, применительно к интересующей нас сфере инженерии, вплоть до недавнего вре-



мени существовало преимущественно как знание прецедентов, эмпирическое обобщение практического опыта и здравого смысла. Только во второй половине XX в. стали делаться определенные попытки теоретизации гуманитарно-технического знания – в системном анализе, системотехнике, дизайне.

Итак, мы рассмотрели структурные зоны стратегии: (1) *вообще Q*; (2) *если S, при том, что вообще Q, то R*; (3) *для того, чтобы P, поскольку S, при том, что вообще Q*; – и сопоставили им, соответственно, типы знаний: (прикладное) естественнонаучное, конструктивно-техническое и гуманитарное. Двум формам связи этих зон: (1) – (2) и (3) – (2) (и (1), так как вводить “гуманитарно-естественнонаучное знание” как особый тип, очевидно, нет нужды) были сопоставлены естественно-техническое и гуманитарно-техническое знание, соответственно. Очевидно, осмысленные комбинаторные возможности схемы будут полностью исчерпаны, если мы рассмотрим вопрос о знании, позволяющем организовать все перечисленные типы знаний, обеспечить эффективное протекание и взаимодействие всех процессов.

Иными словами, поскольку инженерное знание мы берем в качестве системы по отношению к данным типам знаний как к своим элементам, то и вопрос ставим о знании, обеспечивающем в границах данной системы *структурные связи*, – ведь трудно рассчитывать на то, что знания, извлекаемые из технических, естественных и гуманитарных наук, уже “подогнаны” друг к другу. Конечно, можно сказать, что в этом, собственно, и состоит мышление, или что это вопрос *искусства*. В самом деле, и Гюйгенс и многие другие инженеры, насколько можно судить, осуществляли и осуществляют эту организацию (синтез) интуитивно. Но если все же следовать заявленным принципам до конца, то следует и с этим синтезом соотнести некоторый тип знания. По смыслу предъявленных требований, на это место может претендовать только *методологическое знание* (см., например, [11]).

В заключение (на перспективу) хотелось бы подчеркнуть важность сочтения в инженерном мышлении собственно понятийных форм знания и рамочных структур понимания и практической рефлексии. Изучение этих структур как самих по себе, так и в их связях и отношениях с понятиями, представляется актуальной задачей методологии и логики инженерного мышления и знания.

---

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Никитаев В.В.* О техническом и гуманитарном знании в инженерной деятельности // Высшее образование в России. № 2. 1996.
2. *Гюйгенс Х.* Три мемуара по механике. М., 1957.
3. *Франкфурт У.Й., Френк А.М.* Христиан Гойгенс. М., 1962.
4. *Иванов Б.И., Чешев В.В.* Становление и развитие технических наук. Л., 1977.
5. *Михайлов Б.П.* Витрувий и Эллада. Основы античной теории архитектуры. М., 1967.
6. *Энгельмейер П.К.* Философия техники. Вып. 4. Спб., 1913.
7. *Щедровицкий Г.П.* Избранные труды. М., 1994.