

*Поздняков С.Н. (Россия),
Майтараттанакон Атит (Таиланд)
СПб ЛЭТИ*

Техническое мышление

и его роль в интеллектуальном развитии школьника

Введение

Начнем с рассказа об одном студенте - Александре Короткове, который учился у одного из авторов в начале 80-х годов прошлого века в Хабаровском политехническом институте. Как-то он задал вопрос: “а знаете, почему закрываются стеклянные двери на входе в вестибюль метро, хотя на них нет пружины или какого-либо ещё внешнего возвратного механизма”. С тех пор каждый год мы задаём это вопрос своим студентам, и за эти 40 лет только один человек ответил правильно, хотя сегодняшние мои студенты живут в Санкт-Петербурге и пользуются метро ежедневно. В то же время Саша Коротков увидел их один раз, когда их класс с экскурсией возили в Ленинград. Он увидел двери один раз и сразу догадался о механизме (разумеется, он сначала подумал о нем, то есть поставил себе задачу). Оказывается, в основании оси двери есть колесико, которое стоит как бы в ложбинке закатывается вверх при открывании двери в ту или иную сторону, а потом под действием силы тяжести скатывается вниз и дверь закрывается. Инженерное мышление, которым обладал этот студент, многократно проявлялось и в других ситуациях. Так вечером по средам мы собирались с кружком студентов, чтобы делать новые научные открытия (как их когда-то было предписано делать Гуку британской академией). Мы ставили реальную задачу (например, смоделировать бетономешалку или построить модель эпидемии) или брались за изучение необычного феномена, каким, например, является маятник Капицы, ставили эксперименты, разрабатывали математическую модель, а потом сверяли её с реальностью, проводя вычисления на только что появившемся программируемом микрокалькуляторе БЗ-21. Маятник Капицы отличается от обычного (например, маятника напольных часов) тем, что ось подвеса подвергается колебаниям, частота которых существенно выше колебаний самого маятника. И, о чудо, у маятника теперь оказывается не одно устойчивое положение (когда груз находится внизу), а два - положение с грузом сверху также становится устойчивым. Саша был членом этого кружка, и на заседание, посвященное маятнику Капицы, он принес его реализацию, сделанную из старой отцовской бритвы, стержня от шариковой ручки и куска пластилина. Маятник отлично работал, демонстрируя эффект Капицы.

Второго человека со столь явно выраженным инженерным мышлением встретить в дальнейшей жизни нам не пришлось.

Психология технического мышления

Так что же такое “инженерное” или иными словами “техническое” мышление?

Ответ на этот вопрос дал российский психолог, специалист в области психологии обучения, мышления, труда и профессионального становления личности Товий Васильевич Кудрявцев. Т. В. Кудрявцев работал заведующим лабораторией психологии политехнического и трудового обучения Института психологии АПН РСФСР.

Он определил техническое мышление как понятийно-образно-практическое (деятельное). Рассмотрим подробнее эту трехкомпонентную структуру и приведем ещё один пример проявления технического мышления, который взят из выступления академика Петра Леонидовича Капицы перед группой партийных и хозяйственных руководителей в феврале 1944 года "О роли науки в Отечественной войне" [1].

“Дело происходило на одном заводе, где была построена какая-то крупная машина, кажется, специальный тип воздухоудовки. Завод никак не мог пустить ее в ход. Инженеры долго бились над ней, цеха стояли, а воздухоудовка не работала. Наконец, директор завода решил, что надо прибегнуть к силам извне, и пригласил на консультацию крупного специалиста, имя которого я, к сожалению, не запомнил. Директор решился на этот шаг не сразу, так как был прижимист и не хотел тратить лишних средств на приглашение крупных профессоров, которым за консультацию приходится в Англии выплачивать большие суммы.

Профессор приехал, посмотрел машину, попросил молоток или кувалду и несколько раз ударил по корпусу машины. Какие-то части внутри, должно быть, сдвинулись, пришли на место, и машина заработала. Цеха пошли в ход, завод ожил. Профессор вернулся домой и по английскому обычаю послал директору завода счет, кажется, на 100 фунтов стерлингов (тогда это было примерно 1000 рублей золотом)- сумма немалая. Директор огорчился и возмутился. "Что же это такое - приехал человек, который два-три раза ударил молотком и уехал, а я за это должен платить 100 фунтов. Надо сбить спесь с этого профессора", - решил он и послал ученому письмо, в котором в деликатной форме просил дать более точную расценку его труда. На это он получил такой ответ: "За приезд на завод и удар молотком, - писал профессор, - мне полагается 1 фунт стерлингов, а за то, что я знал, куда ударить молотком, - мне следует заплатить остальные 99 фунтов".

В этом сюжете важно, что профессор одновременно понимал, как устроена машина, видел её части и главное, что это знание не было чисто теоретическим, а было основой для действия - удара в нужное место, после которого установка заработала. То есть, для совершения этого действия нужно было:

1. Иметь в голове *теоретическую модель* машины;
2. *Сопоставить* эту модель с *реальным объектом*;
3. Представлять функционирование машины и *влияние внешних действий на её функционирование*.

Взаимодействие компонент технического мышления: образно-практическое мышление

Что будет, если из единой тройки “понятийно-образно-практическое” убрать одну компоненту?

Попробуем убрать первую - понятийную - компоненту. Рассмотрим пример, показывающий, что образно-практическая деятельность не ведет к формированию понятий, а только готовит необходимые представления для их формирования. Описанная далее ситуация наблюдалась при анализе решений заданий конкурса “Конструируй, исследуй, оптимизируй”, в котором ученикам предлагаются трудные или нерешенные задачи, связанные с физическими и техническими явлениями, нерешенными задачами из дискретной математики и информатики. Особенность конкурса в том, что каждому заданию соответствует своя небольшая виртуальная лаборатория для проведения экспериментов, а создаваемые учеником конструкции рассматриваются как частичные решения и оцениваются по нескольким критериям, дающим участникам направление для улучшения решений. Одной из задач, предложенных участникам, была задача “Часы”. Нужно было из двойных шестерёнок собрать “часы” или “часы календарь” (первое для младших школьников, последнее для более старших).

Предлагая эту задачу, организаторы имели в виду интересное наблюдение, сделанное Симуром Папертом над собой и описанное во введении к книге “Переворот в сознании: Дети, компьютеры и плодотворные идеи” [2].

Приведем частично это описание ниже.

“ПЕРЕДАТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ МОЕГО ДЕТСТВА

Мне не было и двух лет, когда у меня возник интерес к автомобилям. Названия деталей машины составляли существенную часть моего словаря тех лет. Я весьма гордился своим знанием частей трансмиссии и коробки

передач, но предметом особой гордости было мое знание слова «дифференциал». Конечно, как работают передаточные механизмы, я понял значительно позднее, но, как только это произошло, игра с шестернями стала моим любимым занятием. Я был просто влюблен во вращающиеся наподобие шестерен круглые предметы, и вполне понятно, что прежде всего я собрал из «конструктора» простейшую систему зубчатой передачи.

Я научился мысленно представлять вращающиеся колесики и выстраивать причинно-следственные цепочки типа: «Это колесико вращается так, значит, то должно вращаться вот так, а то...» ...

Думаю, что увлечение дифференциальными передачами сильнее сказалось на моем математическом развитии, чем то, чему меня обучали в начальной школе. Пользуясь в качестве моделей зубчатыми передачами, я совсем иначе постигал многие абстрактные идеи. Мне особенно запомнились два примера из школьного курса математики. Таблица умножения, которую я вообразил в виде зубчатых передач, и мое первое решение уравнений с двумя неизвестными (типа $3x + 4y = 10$), сразу представившееся в виде дифференциальной передачи. Как только я представил модель из шестерен, связанных между собой отношением x к y , я смог подсчитать, сколько зубцов требуется каждой из шестерен, и это уравнение сделалось моим добрым другом...

Во-первых, я помнил о том, что никто не говорил мне, чтобы я изучил эти передачи. Во-вторых, я помнил о том, что мой контакт с передаточными механизмами был наполнен чувством, любовью, а не только пониманием. В-третьих, я помнил о том, что впервые столкнулся с этими механизмами на втором году жизни. Если бы тогда какой-нибудь «ученый» педагогический психолог попытался измерить результаты этого столкновения, он скорее всего потерпел бы неудачу. Мое столкновение с дифференциальными механизмами имело глубокие последствия, однако проявились они, как мне кажется, лишь много лет спустя. Тестирование в двухлетнем возрасте «до» и «после» столкновения с этими механизмами ничего бы не дало.”

Когда были проанализированы результаты работы младших школьников по конструированию “часов” (в конечном счете цель была - собрать замкнутую цепь с передаточным числом 12 (соотношение скоростей часовой и минутной стрелок), то оказалось, что некоторые школьники собрали такие цепи, но с небольшими погрешностями, то есть, например, передаточное число было 11,999. Это говорит о том, что соединение образной и практической компоненты не привело к формированию теоретических

представлений о передаточном числе и его получении как произведении передаточных чисел двойных шестеренок.”

В то же время те школьники, у которых уже было понятие о том, что одна стрелка должна вращаться в 12 раз быстрее другой, действовали по-другому и пытались оптимизировать уже следующий параметр задачи, которым являлся размер корпуса. Стоит отметить, что некоторые решения показали наличие эстетического вкуса в создании технических устройств. Так в некоторых решениях ребята ограничились минимумом шестеренок, что говорит об их внутреннем чувстве оптимизации, хотя с точки зрения внешнего критерия - размера корпуса — это решение не было лучшим из-за большей величины шестерёнок.

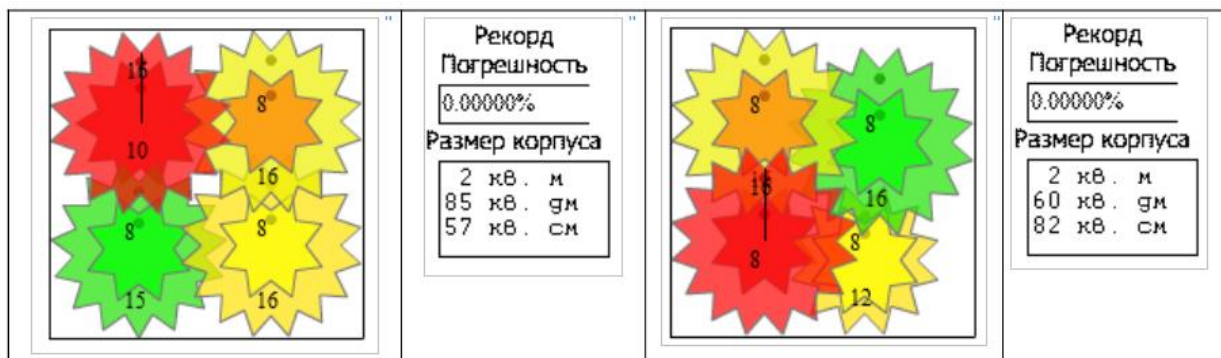


Рис. Два лучших решения

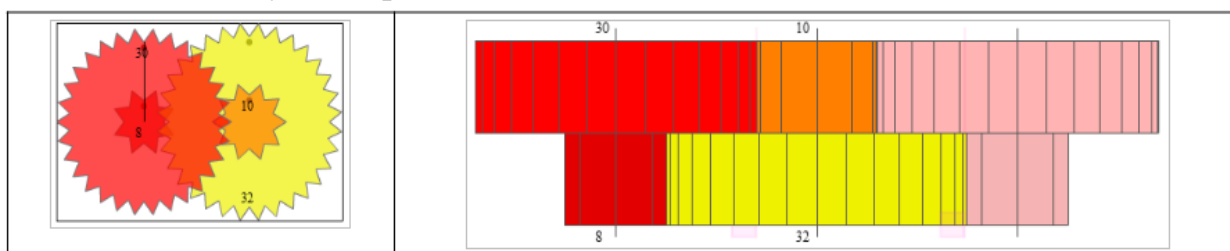


Рис. Решение с двумя шестернями

Взаимодействие компонент технического мышления: понятийно-образное мышление

Для анализа связи понятийной и образной компонент обратимся к интересному социальному явлению, связанному с математическим образованием. На протяжении многих лет идут споры о том, нужно ли изучать в школе геометрию. Математики отмечают, что сложившаяся со времен Евклида традиция изложения геометрии, не соответствует современному языку математики, что “геометрические доказательства” не могут являться примером строгих доказательств. Один из основателей группы, структурировавшей изложение математики под псевдонимом Никола Бурбаки, Жан Дьедонне в книге “Линейная алгебра и элементарная геометрия” [3] не приводит ни одной картинки. В США долгое время курса геометрии не было в школьной программе вообще. Во Франции стремление

отказаться от использования образного мышления в процессе преподавания математики привело к оппозиционному движению, совпавшему с развитием компьютерных технологий, и появлению одной из первых программ динамической геометрии Cabri.

Таким образом была выражена потребность общества в развитии у детей понятийно-образного мышления и предмет геометрии решает эту задачу. Вот что писал о роли геометрии в школьном образовании академик А. Д. Александров: «Особенность геометрии, выделяющая её не только среди остальных частей математики, но и среди других наук вообще, состоит в том, что в ней строгая логика соединена с наглядным представлением. Геометрия в своей сущности и есть такое соединение живого воображения и строгой логики, в котором они взаимно организуют и направляют друг друга» [4, с. 56–62].

Рассмотрим теперь последнюю пару компонент.

Взаимодействие компонент технического мышления: понятийно-практическое мышление

В какой же деятельности можно увидеть понятийно-практическое мышление? Рассмотрим другой предмет математики - алгебру. Образное мышление при изучении алгебры встречается очень редко (иногда некоторые формулы сокращенного умножения изображают через площади прямоугольников). В то же время отсутствует и компонента практического мышления. В то же время, если вместо термина “практическое” использовать “деятельностное”, то деятельностную компоненту можно увидеть у учеников с удовольствием, проводящих сложные алгебраические преобразования. Следует заметить, что понятие деятельности относится ко всем компонентам учебного процесса А. Н. Леонтьев, включает орудийную и внутреннюю деятельность, мотив и постановку цели [5, с. 48], поэтому рассмотрение выполнения человеком алгебраических преобразований в очень малой степени можно отнести к практической компоненте.

Рассмотрим другой учебный предмет - информатику, точнее, её важную часть - программирование. В психологическом (деятельностном) аспекте она похожа на алгебру: есть символы, правила, по которым строятся формулы/программы. Однако у программ есть одна важная особенность - они являются способом управления компьютером и, запустив написанную программу на компьютере, мы фактически получаем новое техническое устройство, работающее по правилам, заложенным в программе. Таким образом, здесь налицо практическая составляющая. При более глубоком анализе можно обнаружить и другие связи между алгеброй и

программированием, например, важное в алгебре понятие инварианта используется при доказательстве корректности циклических программ, многие действия (умножение и сложение “столбиком”, деление “уголком”), изучаемые в арифметике/алгебре, оказываются протоколами работы с длинными числами и пр.

Формирование “технического” мышления до школы

Из нашего изложения может показаться, что техническое мышление является достаточно специфическим и мало связанным с повседневной жизнью человека.

Однако формирование первичных представлений, которое происходит с рождения ребенка и в основном завершается к 5-6 годам, существенно опирается на связь внутренних мыслительных операций с действиями с предметами окружающей среды. Одним из первых, кто обратил внимание на тесную связь предметной и мыслительной деятельности, был советский психолог Лев Семёнович Выготский. В работе «Орудие и знак в развитии ребенка» [6, с. 1039–1129] Выготский показывает, что знаки являются символами предметов, и переход от оперирования внешними предметами к оперированию их именами, точнее, внутренними образами, раскрывает сущность процесса интериоризации (интериоризация - это автоматический перевод действий с внешними предметами во внутренний план мыслительных операций), который соединяет воедино предметную деятельность, язык и мышление. Вот как об этом пишет сам Выготский: «Существенный момент операции мнемической — участие в ней определенных внешних знаков. Субъект не решает здесь задачи непосредственной мобилизацией своих естественных возможностей; он прибегает к известным манипуляциям вовне, организуя себя через организацию вещей, создавая искусственные стимулы, которые отличаются от других тем, что обладают обратным действием: направляются не на других людей, но на него самого и позволяют ему с помощью внешнего знака осуществить запоминание» [6, с. 1097–1098].

Важность базовых представлений отмечает и другой ученый, один из идеологов разработки искусственного интеллекта Марвин Минский.

В своей работе (Minsky M. The Society of Mind. Simon and Schuster. 1987) он формулирует принцип инвестиций. Сущность этого принципа состоит в том, что ребенок в процессе развития создает несравненно больше мыслительных конструкций, чем за всю дальнейшую жизнь. Поэтому при встрече с новой ситуацией человек, в первую очередь, опирается на те представления, которые у него были сформированы в детстве.

На этих же позициях строит теорию использования компьютера для развития ребёнка и Сигмунд Паперт. В статье [7, с. 95–123]. Паперт на примере показывает, что введение компьютера в учебный процесс играет роль не только площадки для экспериментов, перевода части теоретических рассуждений в область экспериментов с виртуальными объектами, но и орудием, посредством которого ученик может по-иному строить свои рассуждения, основываясь на иных внутренних представлениях.

Таким образом, можно сказать, что спонтанное обучение человека, находящегося в нормальной социальной среде, опирается именно на трехкомпонентное - “техническое” - мышление.

Что же происходит с техническим мышлением после поступления ребёнка в школу.

Формирование “технического” мышления в школе и вне школы

Традиционно с техническим мышлением связывают школьный предмет, который в разные годы назывался по-разному: трудом, трудовым обучением, технологией.

Его роль в программе школы невелика. Другой предмет, связывающий все три компоненты технического мышления — это черчение, правда, при условии, что по созданному чертежу будет сделано реальное изделие. К сожалению, в таком качестве чертежи, создаваемые на уроках, никогда не использовались. В то же время, в работах Б. Ф. Ломова и И. С. Якиманской [8, 9] показано, как недостатки пространственного мышления можно компенсировать за счет создания реального изделия, например табуретки.

Обратим внимание, что в цитируемом выше рассказе Паперта о влиянии шестеренок на его развитие большую роль играла дифференциальная передача. Вот ещё один отрывок из введения к упомянутой выше книге Паперта “Мне особенно нравилось в таких системах, как дифференциальная передача, что в них не соблюдается линейная зависимость, поскольку движение с вала к колесной паре может передаваться различными способами - в зависимости от преодолеваемого этой парой сопротивления. Я совершенно ясно помню свое волнение, когда обнаружил, что, не будучи строго детерминированной, система может подчиняться определенным законам и быть абсолютно понятной... Однажды я с удивлением открыл, что некоторые (и даже многие) взрослые не разбираются в зубчатых передачах или просто безразличны к их магии.”. Думается, что и сейчас, как и раньше, люди не обращают внимание на большую “шишку” на задней оси колес автомобиля, внутри которой заключена та самая дифференциальная передача. Математики обратят внимание на замечание

Паперта о нелинейности связи, которая проявляется в этом механизме. Важно ли создать представления о нелинейных процессах. Наш ответ - важно. Линейная экстраполяция заложена у человека в подсознании, и это позволяет ему понимать такие процессы как ньютоновское движение тел, которое основано на линейности в малом. В то же время человек с трудом адаптируется к нелинейным процессам, которые, например, появляются при предсказании погоды. К сожалению, пока нет научных работ, в которых изучено влияние тех или иных базовых представлений на понимание сложных процессов и новых теорий. Более того, использование мощных компьютеров и нейронных сетей позволяет сделать системы, которые моделируют сложные процессы, однако при этом человек перестает понимать, как они работают. Для того, чтобы строить новые концепции, объясняющие открытые экспериментально закономерности или понимать работу сложных устройств, нужны разнообразные представления, которые являются ступеньками для осмысления проблемы.

Во внеклассной деятельности широко представлено различного рода моделирование (авиамоделирование, судомоделирование, робототехника), которое развивает техническое мышление. При этом робототехника, которая связана как с созданием робота, так и с его программированием, занимает как раз ту нишу, в которой реализуются все три компонента технического мышления: понятийно-образно-практическое.

Будет ли решена проблема развития технического мышления введением в курс информатики робототехники?

Думается, только частично, хотя это можно считать важным шагом в создании реальной основы для развития технического мышления.

Окружающий человека мир является с точки зрения развития технического мышления огромной лабораторией, если ученик будет интересоваться тем, как функционируют те или иные окружающие его устройства. Так Симур Паперт как-то в личном разговоре рассказал, что его внук изучил географию, “летая” по миру на тренажёре для пилотов Боинга. Для этого ему видимо пришлось освоить этот тренажёр, научиться прокладывать маршруты на карте и сопоставлять их действиям пилота. Таким образом, развивая техническое мышление, был найден и новый путь к познанию другой области знания.

Выводы

Проделанный анализ показывает отношение различных школьных предметов к развитию технического мышления.

В то время как техническое мышление имеет трехкомпонентную структуру - понятийно-образно-практическое, школьные предметы обычно связаны с одной или максимум с двумя компонентами.

Так геометрия связана с понятийно-образными компонентами,
Программирование - с понятийно-практическими.

Проведение экспериментов в компьютерных лабораториях задействует образную и практическую компоненты.

В то же время, развитие техники и потребность в формировании более сложных понятий связано с потребностью в более сложных представлениях, которые могут сформироваться только в единстве понятийной, образной и практической компонент.

Появление на уроках информатики робототехники является важным шагом в соединении этих трёх компонент, однако робототехнические конструкторы ограничены набором деталей и, возможно, формируемые с их помощью представления уже сформированы у учеников в детстве. Поэтому нужно искать пути, которые расширят область практической деятельности учеников и для этого целесообразно ставить перед ними вопросы о том, как устроены окружающие их технические устройства и процессы.

Вместо заключения

С чего начать тем, кто хочет попробовать привлечь ребят к изучению окружающего их технического мира? Разберитесь в том, как работает дифференциальная передача. На странице Википедии [https://ru.wikipedia.org/Дифференциал_\(механика\)](https://ru.wikipedia.org/Дифференциал_(механика)) есть замечательный старый научно-популярный фильм “Наглядное объяснение работы дифференциала“. На примере этого фильма можно понять, как понятно объяснять оригинальные технические конструкции. Надо снова возродить производство умных игрушек, в основу которых были положены нетривиальные технические идеи. Частично это можно сделать даже в школьной мастерской, например, пересмотреть книги “Умелые руки” и перенести часть идей в новые условия, например, напечатать на 3D-принтере белку, которая сама поползет вверх по веревочке, если дергать за концы веревки.

Проверьте степень понимания учениками окружающего технического мира, задав простой вопрос ““У велосипеда на левой и правой стороне руля есть переключатели скорости. Если на левом 3 скорости, а на правом 8, почему говорят, что у велосипеда 24 скорости. Если вы посчитаете число зубьев на передачах, сможете ли вы определить соотношение всех 24 скоростей?””

Благодарности

Авторы признательны Марите Вонбеневне Ярмолинской за возможность представить свои взгляды на развитие технического мышления школьников учительскому сообществу.

Доклад опирается на работу, выполняемую в рамках научного проекта при финансовой поддержке РФФИ № 19-29-14141: “Изучение взаимосвязи концептуальных математических понятий, их цифровых представлений и смыслов как основы трансформации школьного математического образования”

Источники

1. Капица П. Л. О роли науки в Отечественной войне" // Наука и жизнь, №5, 1985.
2. Сеймур Пейперт. Переворот в сознании: Дети, компьютеры и плодотворные идеи // М., Педагогика, 1989.
3. Жан Дьедонне. Линейная алгебра и элементарная геометрия // М., Наука, 1972.
4. Александров А. Д. О геометрии в школе // Математика в школе, 1980. № 3.
5. Леонтьев А. Н. Деятельность. сознание. личность // М.: Политиздат, 1975.
6. Выготский Л. С. Психология развития человека. М.: Изд-во Смысл; Эксмо, 2005.
7. Papert S. An Exploration in the Space of Mathematics Educations // International Journal of Computers for Mathematical Learning. 1996. Vol. 1. № 1. P. 95–123.
8. Якиманская, И. С. Развитие пространственного мышления школьников. [Текст] / И. С. Якиманская. Науч.-исслед. ин-т общей и пед. психологии Акад. пед. наук СССР. - М.: Педагогика, 1980.
9. Ломов Б. Ф. Формирование графических знаний и навыков у учащихся / Б. Ф. Ломов; ред. В. Г. Ананьев // Проблемы восприятия пространства и пространственных представлений // М.: Изд. АПН РСФСР, 1959.