

Развитие навыков теоретизирования в условиях сложного и быстроменяющегося мира

Хиллари Суонсон

Доцент-исследователь, Школа образовательной и социальной политики (School of Education and Social Policy), hillary.swanson@northwestern.edu

Аллен Коллинз

Почетный профессор, acollins1937@gmail.com

Северо-Западный университет (Northwestern University), США, 633 Clark St, Evanston, IL 60208, United States

Аннотация

Развитие в современном быстроменяющемся контексте зависит от умения по-новому осмысливать сложные проблемы и принимать решения в условиях неопределенности. Подобные навыки не находятся в фокусе системы образования. В статье представлена методика их формирования путем обучения разработке научных теорий, которая прошла апробацию в одной из школ США. Особое внимание уделено методам преподавания, включая организацию

коллективных дискуссий по оценке предлагаемых учащимися теорий, и роли преподавателя в успешной реализации целей курса. Умение выстраивать теории и находить причинно-следственные связи — ценное свойство не только для будущих ученых, но и для всех студентов и школьников, поскольку способствует наращиванию человеческого потенциала для ответа на масштабные вызовы в экономике, экологии, медицине и многих других сферах.

Ключевые слова: STEM; научная теория; навыки построения теорий; вовлеченность учащихся; решение сложных проблем; теоретическое мышление; компетенции XXI века

Цитирование: Swanson H., Collins A. (2019) Learning to Theorize in a Complex and Changing World. *Foresight and STI Governance*, vol. 13, no 2, pp. 98–106. DOI: 10.17323/2500-2597.2019.2.98.106

Стремительное технологическое развитие трансформирует все области деятельности и усиливает неопределенность. Эффективные стратегии в подобном контексте основываются на нестандартных подходах к решению проблем. Их можно реализовать, владея соответствующими навыками, которым система образования не уделяет должного внимания. Лицам, принимающим решения, необходимо изучить природу перемен и гибко адаптировать образовательные программы и политику. По мере совершенствования роботов и компьютеров «рутинные» рабочие места будут исчезать, что создает большие риски для работников, не обладающих актуальными компетенциями. Тем не менее многие школы продолжают руководствоваться учебными программами, разработанными несколько десятилетий назад. Следовательно, молодые люди не смогут адаптироваться к сложному, быстроменяющемуся миру.

В последние годы во многих странах осуществляется интенсивная подготовка специалистов в области естественных наук, технологий, машиностроения и математики (так называемые дисциплины STEM — science, technology, engineering, mathematics), являющихся основным источником прогрессивных инноваций и драйверов развития. Во времена стабильности, предшествовавшие резкому ускорению технологического прогресса, для принятия взвешенных решений не требовалось столь массовое обладание глубокими знаниями в области математики и естественных наук. Но по мере усложнения контекста их важность увеличивается.

Выделяются две категории математических навыков [Devlin, 2012, p. 8]:

- абстрактные — решение математических задач соответствующими методами;
- прикладные — применение математического инструментария для идентификации проблем, возникающих, например, в промышленном производстве, описания их ключевых характеристик и анализа.

По мере исчезновения рутинных производственных процессов спрос на специалистов, обладающих математическими навыками первого вида, снижается, а второго — увеличивается [Devlin, 2012]. Приведенные аргументы применимы и к научным исследованиям. В настоящее время такие навыки, как умение анализировать проблемы, идентифицировать элементы, закономерности, глубинные структуры объектов и явлений, находить им объяснения, обеспечивают принятие эффективных решений. Они играют важную роль в формировании научных теорий. Следовательно, развитие перечисленных способностей на всех образовательных уровнях, начиная со школы, по нашему мнению, является стратегической задачей.

Теория — ключевой элемент науки [Suppe, 1974, p. 3], закладывающий основу для разработки технологий [diSessa, 1991, p. 229]. Вовлечение в процесс создания теорий позволяет учащимся глубже понять природу науки, сформировать концептуальное мышление и совершенствовать когнитивные способности. Несмотря на это, обучению разработке теорий уделяется меньше внимания, чем эмпирическим исследованиям. В послед-

ние годы в американских школах стали преподаваться моделирование и поиск объяснений, но это лишь часть широкого инструментария построения теорий.

Активное внедрение практик формирования концепций в школьные образовательные программы позволит готовить будущих ученых с уникальными когнитивными навыками, необходимыми для поиска ответов на новые сложные вызовы. В статье представлен обучающий курс, основанный на «интеллектуально беспристрастном» (*intellectually honest*) подходе [Bruner, 1977] к разработке теорий. Описаны четыре навыка, приобретаемые по его окончании. Особое внимание уделено методам преподавания и приемам, которые, как представляется, имеют определяющее значение в данном процессе. Раскрывается вклад коллективного обсуждения «учебных» теорий и фасилитационной роли преподавателя в процессе формирования и углубления навыков мышления. Проанализировано значение результатов исследования для подготовки будущих ученых и, в более широком плане, профессионалов, способных добиться успеха в новой парадигме развития.

Курс разработки теорий

Высказывание Альберта Эйнштейна «Наука есть не что иное, как совершенствование повседневного мышления» [Einstein, 1936] отражает конструктивистский подход, согласно которому формальное знание обретается путем реорганизации и уточнения имеющейся информации [Smith et al., 1994]. Представленный курс способствует совершенствованию мышления в процессе разработки, проверки и корректировки теорий. Таким образом, приобретаются навыки выявления закономерностей поведения физических и психосоциальных систем, достижения ими пороговых значений и равновесного состояния. Например, можно определить пороговое положение, за которым следует обрушение конструкций или наступает предел человеческого терпения. В обоих случаях прослеживается последовательная смена предварительной стадии, предела и реакции. В ходе предварительной стадии некий параметр меняется, пока не достигнет предела, после чего система реагирует — необратимо трансформируется в новое состояние. Нагревание холодной воды до комнатной температуры и успокоение эмоций также предполагают достижение равновесия. Эти примеры характеризуются дифференцированной скоростью изменений: система вначале быстро стремится к равновесному состоянию, но по мере приближения к нему темп снижается. Достижение порогового значения и равновесного состояния определяется внутренними факторами, или внутренней структурой системы. Такие закономерности зачастую описывают причинно-следственные связи между событиями, иными словами, имеют объясняющую силу. Примеры можно продолжать, но в данном случае целесообразно пользоваться общими — абстрактными терминами.

Ключевая цель обучения разработке концепций — поиск обобщающих закономерностей. В рамках научных теорий описываются структуры, лежащие в основе явлений той или иной природы [Toulmin, 1958; Hempel, 1974], и предлагается объяснение их сущности

Табл. 1. Структура курса по развитию навыков теоретизирования

Блок	Продолжительность, ч.	Предмет преподавания
Вводный	6	Концепция абстрагирования
«Пороговый»	10	Понятие «внутренняя структура» и методы вычисления пороговых значений
«Равновесный»	20	Идентификация причинно-следственных связей и способов определения равновесного состояния
Практический	16	Изучение феноменов экспоненциального роста и колебаний системы, отработка навыков абстрагирования, выявления внутренней структуры и причинно-следственной связи

Источник: составлено авторами.

[Hempel, Oppenheim, 1948]. Формулировки должны носить абстрактный характер и применяться к широкому спектру феноменов [Atkins, 2010]. Закономерности можно проследить в разных явлениях, поэтому учащиеся вольны приводить собственные примеры и разрабатывать теории в отношении знакомых им контекстов. Обнаруженные паттерны и объясняющие их теории могут различаться по глубине внутренней структуры, объяснительной силе и уровню абстракции. Принципиально то, что подобные упражнения развивают способность к формулированию и последующей доработке теорий — самостоятельно или в ходе дискуссии с партнерами [Swanson, forthcoming]. Рассматриваемый в статье курс разработки теорий был апробирован в рамках программы по исследованию особенностей восприятия паттернов учащимися средней школы и поиску возможностей для его развития и углубления. Задача курса — научить разрабатывать концепции, относящиеся к теории динамических систем, которая применяется учеными в самых разных областях для моделирования процессов изменений и систем управления [Devaney, 1992].

Курс преподавался в государственной средней школе в экономически отстающем районе крупного города на западе США. Ее выбор был обусловлен готовностью учителя 8-го класса предоставить авторам статьи возможность вести занятия. Курс преподавал первый соавтор, имевший шестилетний опыт работы преподавателем средней школы до перехода на научную деятельность. Особое значение придавалось созданию атмосферы, стимулирующей учащихся высказывать, обсуждать, осмысливать и развивать свои идеи, совершенствовать логическое мышление.

Слушателями курса стали ученики 8-го класса численностью 21 человек из мигрантских семей с невысоким уровнем дохода, выразившие готовность участвовать в образовательном эксперименте. География их происхождения охватывала Мексику, страны Центральной Америки, африканские государства, Боснию и Герцеговину. Большинство имели статус «изучающих английский язык».

Структура учебной программы (табл. 1) определялась совокупностью задач, составляющих процесс разработки научной теории:

- описание поведения, лежащего в основе некоего единичного явления (идентификация внутренней структуры);

- поиск определяющих его факторов (установление причинно-следственной связи);
- выявление элементов внутренней структуры, общих для ряда феноменов (абстрагирование).

Курс преподавался на протяжении полного учебного года три раза в неделю по утрам в течение 40 минут (всего 52 часа). Учащиеся разрабатывали теории для объяснения закономерностей, выявленных в повседневной жизни, идентифицировали достижение соответствующими системами пороговых значений и равновесного состояния, анализировали их экспоненциальный рост и колебания. Отдельно изучались связи между кейсами учебных теорий и общими принципами разработки научных концепций.

В рамках каждого блока учащиеся самостоятельно конструировали теории, проходя итеративный цикл: генерацию, тестирование и корректировку. Начальная версия теории, объясняющей наблюдаемую закономерность, формулировалась по результатам наблюдения за двумя явлениями и тестировалась на третьем кейсе. Примеры предлагал преподаватель. По итогам тестирования учащиеся вносили изменения и представляли второй вариант теории. Затем формировался список явлений, отвечающих установленной закономерности, и проверялось их соответствие предложенным теориям. После этого учащиеся вновь вносили поправки и готовили третью, финальную версию. Учебные теории должны были объяснять знакомые и понятные закономерности, а их формулировки — адаптироваться в соответствии с каноническими определениями основных концепций теории динамических систем: пороговых и равновесных значений, экспоненциального роста и колебаний. Корректировке теорий в нужном направлении способствовали подбор преподавателем релевантных примеров и привлечение внимания учеников к продуктивным идеям, высказанным в ходе коллективных дискуссий.

Притом что практиканты готовили теории индивидуально, приветствовался обмен идеями с одноклассниками. Во всех случаях подготовленные варианты коллективно обсуждались. Учащиеся имели возможность самостоятельно обдумать и сформулировать свои идеи, которые затем подвергались критическому разбору и оценке одноклассниками. Их в случайном порядке рассаживали за столы и в начале каждого месяца пересаживали на новые места. В ходе наблюдений (изучения примеров) преимущественно велась работа в парах,

за исключением одной группы, работавшей втроем. В процессе коллективного создания артефактов (например, плакатов) все участники работали вместе, сидя за общим столом.

Абстрагирование

Изучались концепция абстрагирования (хотя данный термин не использовался), смысл понятий «общий» и «конкретный». Абстрагирование заключается в выявлении общих характеристик множественных конкретных предметов. Слушатели практиковались в обобщении на примере таких категорий, как «шоколадное печенье», «овсяное печенье с изюмом», «крекеры из непросеянной муки» и т. п., по собственному выбору.

Выявление внутренней структуры

Примеры для идентификации внутренних структур выбирались исходя из базовой трактовки понятия «порог» (последовательная смена предварительной стадии, предела и реакции). Ученики освоили приемы для оценки изучаемых явлений, формулирования, тестирования и корректировки обнаруженных закономерностей. Практические занятия основывались на двух примерах пороговых значений. В рамках первого предлагалось посоревноваться, кто сможет повесить больше монет на «мост» из спагетти. Второе упражнение заключалось в размещении как можно большего числа капель воды на монете. Примеры дополняли друг друга, поскольку в обоих случаях фигурировали монеты. Благодаря использованию одних и тех же артефактов стало очевидно, кому из учащихся удалось выявить общую внутреннюю структуру, не ограничиваясь установлением поверхностного сходства. В обоих случаях им предлагалось самостоятельно описать эксперименты и проиллюстрировать наблюдаемые процессы рисунками. Ключевой момент заключался в осознании учениками, что под «закономерностью» понимается общий для обоих примеров процесс, а не сходство используемых предметов (монет).

После выполнения упражнений каждый участник сформулировал первый вариант теории, иллюстрирующей закономерность, которой, по его мнению, соответствовали оба примера. Описание кейсов предлагалось составить таким образом, чтобы собеседник понимал, что речь идет об одном из процессов, но не смог точно определить, о каком именно. Иными словами, учащиеся должны были сосредоточиться на общей для обоих процессов внутренней структуре, а не на внешнем сходстве. Стояла задача выбрать абстрактные формулировки и избегать упоминания характеристик, позволяющих идентифицировать конкретные процессы.

На следующем этапе учебные теории тестировались на другом примере: в сосуд с водой небольшими порциями добавляли соль до момента, пока лежавшее на дне яйцо не всплыло на поверхность. После этого обучаемые уточняли формулировки, приводили собственные примеры закономерностей и коллективно обсуждали их соответствие предложенным теориям. По итогам дискуссии содержание теорий вновь корректировалось и представлялся окончательный вариант.

Выявление причинно-следственных связей

Основой для изучения методов обнаружения причинно-следственных связей служил паттерн дифференцированного темпа перемен, согласно которому скорость достижения системой равновесия прямо пропорциональна ее удаленности от этого состояния. Базовая структура данного этапа обучения была такой же, как и у предыдущего, но на работу с примерами отводилось значительно больше времени.

Пример 1 — измерение скорости согревания холодной воды до комнатной температуры. Наглядно иллюстрирует принцип дифференцированного темпа перемен и закон теплоотдачи Ньютона: чем больше температура холодной воды отличается от комнатной, тем быстрее она нагревается. Интерпретируя результаты измерений, практиканты отметили, что температура менялась «сначала быстро, потом медленно». Каждый из них предложил объяснение этой закономерности. Затем проводилась общая дискуссия, в ходе которой участники совместными усилиями устанавливали причинно-следственные связи [Swanson, Collins, 2018].

Пример 2 — остывание горячей воды до комнатной температуры. В результате сопоставления этого процесса с нагреванием холодной воды были предложены теории, объясняющие общую закономерность. Постановка задачи была аналогичной.

Пример 3 — изучение диффузии частиц. Процесс имитировался с помощью коробки, разделенной на два отделения. В одно из них положили порцию сушеных бобов, после чего коробку двигали по столу взад-вперед, чтобы бобы могли перемещаться из одного отделения в другое через небольшое отверстие посередине перегородки. Разница между количеством бобов в отделениях определяет скорость их перераспределения. Зафиксировав снижение изначально высокого темпа, практиканты представили собственные трактовки причинно-следственной связи.

В ходе дискуссии этот пример сравнивался с двумя предыдущими, в рассмотренные теории вносились корректировки. Участники предложили собственные примеры подобных закономерностей. По итогам общего обсуждения были сформулированы окончательные варианты теорий, объясняющие данный паттерн.

Мы проанализировали письменные учебные формулировки теорий и видеозаписи аудиторных дискуссий с использованием количественных и качественных методов. Установлено, что учащиеся приобрели навыки разработки теорий, обогатили логическое мышление и углубили понимание происходящих процессов с научной точки зрения [Swanson, forthcoming]. Проанализируем достигнутые эффекты более подробно.

Формирование концептуального мышления

Разработка учебных абстрактных теорий, объясняющих закономерности примеров пороговых значений и равновесного состояния, относится к категории научной деятельности. Практиканты продемонстрировали степень владения такими навыками составления теорий,

Табл. 2. Канонические научные концепции, которым должна соответствовать учебная формулировка теории

Блок курса	Каноническая научная концепция
«Пороговый»	Последовательность «предварительная стадия — предел — реакция»
«Равновесный»	Дифференцированный темп перемен

Источник: составлено авторами.

как: проверка эмпирической валидности и полноты; выявление внутренней структуры; выявление причинно-следственной связи и абстрагирование. Прохождение специального курса благоприятствовало развитию этих способностей и, как следствие, формированию теоретического склада ума [Swanson, forthcoming].

Проверка эмпирической валидности и полноты

Валидность определяется как степень соответствия теории эмпирическим наблюдениям [Wilensky, Rand, 2007]. Понятие «полнота» характеризует степень охвата аспектов, связанных с объяснением и прогнозированием явлений, которые описывает теория. Разработанные учениками теории соотносились с каноническими научными концепциями (табл. 2).

Наше исследование показало, что в ходе итерационной корректировки теорий логическое мышление обучаемых «конвертировалось» в теории, оперирующие категориями пороговых значений и равновесного состояния, в большей мере соответствующие канонической научной концептуализации [Swanson, forthcoming]. Ключевые статистические показатели, иллюстрирующие динамику этого процесса, представлены в табл. 3.

В ходе последовательного процесса — формулировки собственных идей, оценки предложений других слушателей и совместного осмысления — участники постепенно добивались соответствия озвученных теорий научной концептуализации пороговых и равновесных значений. Характер постановки учебных заданий — «описать выявленные закономерности и возможную причинно-следственную связь конкретных явлений» —

стимулировал активность учеников в формулировании теорий. Идеи презентовались в виде записей на доске, посредством составления плакатов и посещения «галереи проектов» (*gallery walks*) [Kolodner, 2003]. Для того чтобы каждый обучаемый мог осмыслить идеи одноклассников, организовывались коллективные дискуссии, в ходе которых проводились взаимная оценка, обоснование, критика и уточнение формулировок. Чередование индивидуальной и групповой работы давало возможность самостоятельной рефлексии с последующим участием в совместном осмыслении.

Выявление внутренней структуры

Научные теории описывают эмпирические закономерности [Toulmin, 1958] и лежащие в их основе процессы (внутренние структуры) [Hempel, 1974]. Способность к распознаванию сути явлений, скрытой за поверхностными характеристиками, и идентификация их внутренней структуры относятся к ключевым исследовательским навыкам [Chi et al., 1981]. В контексте учебных теорий глубинная структура понималась как описание поведения, примером которого служит явление (например: «Будем добавлять что-нибудь к чему-нибудь, пока оно не изменится»). В свою очередь «поверхностный» анализ ограничивается установлением контекстно-зависимых характеристик (например: «В обоих случаях использовались бытовые предметы»). Учащихся ориентировали на поиск внутренних динамических взаимосвязей или реляционных структур [Gentner, 1983], характерных для множественных явлений, а не внешнего (поверхностного) сходства между ними.

По итогам «порогового» и «равновесного» блоков курса учащимся удалось уйти от использования внешних характеристик и сфокусироваться на выявлении глубинных закономерностей, что позволило усовершенствовать формулировки теорий [Swanson, forthcoming]. Например, к моменту старта «порогового» блока почти три четверти практикантов отмечали общие внешние характеристики моста из спагетти и капель воды на монете («В обоих случаях использовались монеты»). Примерно такая же доля респондентов упомянули элементы внутренней структуры.¹ К моменту завершения

Табл. 3. Эволюция формулировок учебных теорий в процессе прохождения курса

Блок курса	Стартовая ситуация	Итоговая ситуация
«Пороговый»	Большинство теорий опирались на внешние характеристики или учитывали лишь один из трех элементов цепочки «предварительная стадия — предел — реакция»	Половина учащихся уточнили формулировки, включив в них все три элемента: предварительную стадию, предел и реакцию (например: «Процесс повторяется, пока что-то не произойдет»). В 30% случаев в описание теорий добавились два или три элемента (например: «Добавляем или убавляем что-то, пока не достигнем максимума»)
«Равновесный»	Предложенные теории основывались исключительно на изменении темпа перемен (например: «Сначала менялось быстро, потом медленно»)	Большинство учеников (65%) адаптировали теории к концепции дифференцированного темпа перемен. Примеры: «Здесь расстояние было больше, поэтому скорость была выше»; «Там места было меньше, поэтому скорость была ниже»; «Когда места вообще не осталось, процесс остановился»

Источник: составлено авторами.

¹ Теории могли включать как поверхностные характеристики, так и элементы внутренней структуры.

«равновесного» блока почти все предложенные теории переориентировались на внутреннюю структуру (например: «Сначала места было много, поэтому процесс шел быстро, а потом, когда места стало меньше, темп замедлился»). Лишь 10% участников курса ограничились внешними характеристиками.

«Пороговый» и «равновесный» блоки начинались с анализа двух почти идентичных примеров. В первом случае в контейнер добавлялись предметы до момента его опрокидывания. Во втором — нагревались и охлаждались жидкости. На основе этих кейсов учащиеся выявили закономерности, после чего проверили теории на третьем примере, который предполагал более отдаленные аналогии. Пороговое значение вычислялось посредством добавления соли в воду до момента всплытия яйца. Достижение равновесного состояния отслеживалось в ходе наблюдения за диффузией частиц через полупроницаемую перегородку. Работа с двумя близкими по характеру кейсами помогла ученикам установить структуру взаимосвязей и впоследствии вычислить ее в третьем примере. Наше предположение подтверждается ранее проведенными исследованиями, доказывающими, что при изучении схожих примеров повышается вероятность обнаружения аналогичного паттерна и в других ситуациях, имеющих, на первый взгляд, иную природу [Gertner, 1983]. Ассистирование ученикам в выявлении структуры взаимосвязей в более отдаленных аналогиях путем предварительной идентификации в сходных примерах получило название прогрессивного упорядочивания (*progressive alignment*) [Loewenstein, Gertner, 2001].

Установление причинно-следственной связи

Научные теории нацелены прежде всего на объяснение эмпирических явлений [Hempel, Oppenheim, 1948]. Ученые идентифицируют причинно-следственную связь, раскрывающую суть наблюдаемых процессов. Например, обновленная форма закона теплоотдачи Ньютона, выраженная с помощью дифференциального уравнения $dT/dt = k(T_{env} - T_{obj})$, устанавливает пропорциональную связь темпов изменения температуры объекта с разницей между ее значением и температурой среды. Следовательно, чем больше начальный интервал, тем быстрее температура будет меняться.

Физики определяют разницу температур в правой части уравнения как «термодинамическую движущую силу», задающую скорость изменения температуры в левой части [diSessa, 2014, p. 806]. Соответственно мы считаем эту и аналогичные зависимости, описываемые другими абстрактными математическими моделями, корректной, научно обоснованной формой причинно-следственной связи. Завершив курс разработки теорий, учащиеся смогли описать поведение, характерное для ряда явлений, и определить его причину.

Исследование показало, что при прохождении «равновесного» блока ученики продемонстрировали определенные успехи в установлении причинно-следственных связей [Swanson, forthcoming]. Теории, предложенные в рамках «порогового» блока, как и первые варианты предложений по итогам «равновесного»,

ограничивались лишь установлением закономерностей. К моменту завершения второго этапа обучения объяснение паттернов наблюдалось в 66% случаев (например: «Быстро, потому что нужно пройти большее расстояние; замедляется, так как места становится все меньше, а раз меньше места, можно замедлиться»).

Развитию этого навыка способствовал поиск объяснений конкретных закономерностей в ходе коллективных дискуссий [Swanson, Collins, 2018]. Первый пример перехода в равновесное состояние состоял в нагревании холодной воды до комнатной температуры, скорость которого характеризовалась как «быстрая, затем медленная». Далее обсуждались второй (остывание горячей воды) и третий (встряхивание бобов в коробке) примеры. Дискуссии фокусировали внимание учащихся на базовой структуре связей между элементами в каждом кейсе. Поиск причинно-следственных зависимостей — естественная мотивация при сопоставлении аналогов. Интерес представляют не отдельные совпадения, а логические связи, которые позволяют делать обобщающие выводы [Gentner, Colhoun, 2010]. Следовательно, коллективные обсуждения способствовали закреплению природной склонности обучаемых к выявлению причинно-следственных отношений и поиску объяснений.

Абстрагирование

Широта применения — один из ключевых факторов, определяющих ценность научных теорий [Atkins, 2010], которые формулируются таким образом, чтобы сфера их охвата была по возможности максимальной [Suppe, 1972; Toulmin, 1958]. По определению Эрнста фон Глазерсфельда (Ernst von Glasersfeld), абстрагирование — это процесс генерации «общих идей на основе опыта» и «подмена некоего заполнителя или переменной абстрагированными эффектами субъективного восприятия тех или иных вещей» [von Glasersfeld, 1991]. В теориях, выработанных учениками, об абстрагировании свидетельствует использование обобщенных («сначала меняется быстро, потом медленно»), а не контекстно зависимых формулировок (например: «Меняется медленно, пока не достигнет максимальной температуры помещения»). На этапе установления закономерностей ставилась задача подбора общих терминов, употребление которых обеспечило бы применимость теорий к широкому кругу феноменов.

Активное пользование общими терминами позволило сделать формулировки теорий более абстрактными [Swanson, forthcoming]. Большинство практикантов описывали закономерности без ссылок на конкретные события: «Когда нужно пройти большую дистанцию, скорость высокая, а когда расстояние уменьшается, она падает. По завершении всего пути происходит остановка». Заметно реже встречались формулировки, описывающие закономерности в контексте фиксированных явлений, например: «Мы пользовались монетами, переложили их в контейнер, пересчитали и сделали это еще раз».

С высокой вероятностью, ключевую роль в обучении навыкам разработки общих теорий сыграл анализ разнородных примеров. Ввиду того что учебные теории

Табл. 4. Педагогические приемы, использованные в рамках курса

Целевое назначение	Эффекты
Выявление идей	Стимулирование учеников к высказыванию, формулированию и обоснованию идей, развитие творческого мышления, получение «сырья» для генерации формализованных знаний
Презентация	Создание общих артефактов для групповой рефлексии и выработки уточнений, путем вербальных формулировок и записи идей на классной доске
Вовлечение в осмысление идей	Способность к глубокому осмыслению идей одноклассников развивает критическое мышление, но нередко приводит и к появлению новых идей, следовательно, стимулируя творческое мышление
Помощь в определении своего места в более широком ландшафте	Оценка вклада дискуссий в выполнение задач текущего блока. Участники курса должны фокусироваться на оценке перспективы и динамики дискуссионного процесса, а не содержания конкретной дискуссии. Фокус на процессе создания знаний способствует развитию мета-познания
Развитие чувства принадлежности к созданию научного знания, обеспечение равноправного участия	Создание комфортной атмосферы с позитивной и корректирующей обратной связью. Позиционирование идей учащихся как ценного вклада в коллективное создание научного знания, стимулирующее их вовлеченность в процесс и усиливающее интерес к его творческой составляющей

Источник: составлено авторами.

нуждались в расширении для охвата непохожих кейсов, исключались внешние псевдоаналогичные элементы. Так, в ходе прохождения «порогового» блока пришлось пересмотреть теорию, которая считалась достаточной для объяснения ситуаций с мостом из спагетти и каплями воды на монете. Замена понятия «разрушение» на «изменение» при характеристике реакции позволила распространить теорию на третий пример, в котором яйцо не разрушается, а всплывает. Процесс абстрагирования базовой идеи на основе анализа аналогов, исследованный Мэри Гик (Mary Gick) и Кейтом Холояком (Keith Holyoak), получил название «индукция схемы» (*schema induction*) [Gick, Holyoak, 1983, p. 8]. Он заключается в «отбрасывании различий между аналогами при фокусировании на общих характеристиках». Гик и Холояк установили, что наблюдателям редко удается идентифицировать схему с опорой на единичный пример, но при наличии двух аналогов их усилия обычно завершаются успехом.

Совершенствование повседневного мышления

Можно констатировать, что описываемый курс позволил студентам усовершенствовать свое повседневное мышление, обогатив его «научными» компонентами. Ключевую роль сыграли обсуждения разрабатываемых теорий [Swanson, Collins, 2018]. В частности, в кейсе с нагреванием холодной воды до комнатной температуры данные о тепловой динамике собирались с помощью компьютерной программы. Скорость нагрева интерпретировалась как «быстрая, затем медленная». Практиканты предложили собственные объяснения этой закономерности, а затем под руководством преподавателя совместными усилиями сформулировали и уточнили причинно-следственную связь процесса.

Начальные описания идей носили необычный характер. Например: «Температура воды тормозит до полной остановки, подобно спортсмену, замедляющему

бег, чтобы не врезаться в стену, а в начале процесса она растет быстро, поскольку до стены далеко и опасаться нечего». Идентификация, презентация и осмысление предложений позволили уточнить и адаптировать формулировки к концепции дифференцированного темпа перемен [Swanson, Collins, 2018]. Каждому ученику была отведена своя роль в контексте учебного процесса, обеспечившая ощущение равноправного участия в производстве научного знания. Характеристики приемов, применяемых в этих целях, описаны в табл. 4.

Заключение

В статье представлена экспериментальная учебная программа, призванная вовлечь учащихся средней школы в «интеллектуально беспристрастное» создание научных теорий. Рассмотрены четыре навыка, приобретаемые в процессе обучения, а также методики, способствовавшие их развитию и формированию теоретического склада ума.

Результаты нашего исследования позволяют заключить, что ученики при поддержке преподавателя с готовностью вовлекаются в разработку научной теории и приобретают необходимые навыки. Полученные выводы ставят под сомнение общепринятые стереотипы об ограниченном потенциале молодых людей к освоению методов выявления внутренней структуры феноменов и абстрагирования [Chi et al., 1981; Larkin, 1983]. Разработка теорий позволяет глубже понять суть науки, так как отражает процесс создания научного знания. Представленный курс основан на конструктивистском подходе к аудиторному обучению, стимулирует генерацию идей учениками, их заинтересованность в самостоятельном и коллективном осмыслении.

Мы полагаем, что преимущества от обучения разработке теорий в школе не ограничиваются приобретением соответствующих навыков и знаний. Благодаря подобным занятиям формируется реалистичное пред-

ставление о науке как профессии. Повышается информированность школьников о специфике научной деятельности и значении ее творческой составляющей. У них формируется представление о создании научного знания как конструктивном процессе, а не просто акте открытия. Как следствие, развеиваются мифы, сложившиеся вокруг ученых и научного знания. Учащиеся обретают чувство принадлежности и надежду на то, что сами когда-нибудь внесут вклад в широкий научный дискурс.

При работе с учащимися из исторически маргинализованных социальных групп особенно важно донести мысль, что они могут участвовать в создании и апробации научных результатов. Примерив на себя роль генераторов и критиков таких знаний, обучаемые получают инклюзивный опыт научной работы за счет расширения «содержания и формы научных знаний, оцениваемых и транслируемых через учебный процесс» [Bang et al., 2012, p. 304]. В основе представленного курса лежит уважительное отношение к логическому мышлению учащихся [Warren et al., 2001] в сочетании с критическим восприятием ранее полученных знаний [Bang, Medin, 2010]. Подобный подход облегчает реализацию общей для многих преподавателей цели: сделать работу в классе более инклюзивной и равноправной. Учет особенностей мышления отдельных учащихся и пред-

ложение разных подходов к созданию научных знаний способствуют генерации широкого спектра идей и создают здоровую экосистему науки. По замечанию Пола Фейерабенда (Paul Feyerabend), «распространение альтернативных теорий полезно для науки, в то время как единообразие ослабляет ее критическую силу» [Feyerabend, 1993, p. 24].

В более широком контексте развитие теоретического мышления имеет стратегическое значение. Общество сталкивается с многочисленными глобальными проблемами, включая распространение опасных заболеваний, загрязнение окружающей среды, учащение экономических кризисов и природных катаклизмов, усиление зависимости от технологий и т. д. Адекватные решения для них можно найти, только обладая новым мышлением — отличающимся от того, которое привело к их возникновению. Следует уделять больше внимания развитию критического мышления и навыков рефлексии над сложными жизненными проблемами [Collins, 2017]. Для разработки нестандартных, действенных решений необходимо понимать внутреннюю структуру и причинно-следственные механизмы, стоящие за комплексными явлениями и процессами. Развитие теоретического склада ума поможет подрастающему поколению в поисках ответов на вызовы сложного и быстроменяющегося мира.

Библиография

- Atkins P. (2010) *The laws of thermodynamics: A very short introduction*. Oxford: OUP Oxford.
- Bang M., Medin D. (2010) Cultural processes in science education: Supporting the navigation of multiple epistemologies // *Science Education*. Vol. 94. № 6. P. 1008–1026.
- Bang M., Warren B., Rosebery A.S., Medin D. (2012) Desetting expectations in science education // *Human Development*. Vol. 55. № 5–6. P. 302–318.
- Bruner J.S. (1977) *The process of education*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Chi M.T., Feltovich P.J., Glaser R. (1981) Categorization and representation of physics problems by experts and novices // *Cognitive Science*. Vol. 5. № 2. P. 121–152.
- Collins A. (2017) *What's worth teaching: Rethinking curriculum in the age of technology*. New York: Teachers College Press.
- Devaney R.L. (1992) *A first course in chaotic dynamical system: Theory and experiment*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Co.
- Devlin K. (2012) *Introduction to mathematical thinking*. Palo Alto, CA: Keith Devlin.
- diSessa A.A. (1991) If We Want to Get Ahead, We Should Get Some Theories // *Proceedings of the Thirteenth Annual Meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education / Ed. R.G. Underhill*. Vol. 1 (Plenary Lecture and Reaction). Blacksburg, VA: Virginia Tech. P. 220–239.
- diSessa A.A. (2014) The construction of causal schemes: Learning mechanisms at the knowledge level // *Cognitive Science*. Vol. 38. № 5. P. 795–850.
- Einstein A. (1936) Physics and Reality // *Journal of the Franklin Institute*. Vol. 221. № 3. P. 349–382.
- Feyerabend P.K. (1993) *Against Method*. London: Verso.
- Gentner D. (1983) Structure-mapping: A theoretical framework for analogy // *Cognitive Science*. Vol. 7. № 2. P. 155–170.
- Gentner D., Colhoun J. (2010) Analogical processes in human thinking and learning // *On Thinking: Vol. 2. Towards a Theory of Thinking / Eds. A. von Muller, E. Poppel, B. Glatzeder, V. Goel, A. von Muller*, Heidelberg; New York; Dordrecht; London: Springer, pp. 35–48.
- Gick M.L., Holyoak K.J. (1983) Schema induction and analogical transfer // *Cognitive Psychology*. Vol. 15. № 1. P. 1–38.
- Hempel C. (1974) Formulation and Formalization of Scientific Theories: A Summary-Abstract // *The Structure of Scientific Theories / Eds. T.S. Kuhn, F. Suppe*. Chicago: University of Illinois Press. P. 244–254.
- Hempel C.G., Oppenheim P. (1948) Studies in the logic of explanation // *Philosophy of Science*. Vol. 15. № 2. P. 135–175.
- Kolodner J.L., Camp P.J., Crismond D., Fasse B., Gray J., Holbrook J., Puntambekar S., Ryan M. (2003) Problem-based Learning Meets Case-based Reasoning in the Middle-school Classroom: Putting Learning by Design into Practice // *Journal of the Learning Sciences*. Vol. 12. № 4. P. 495–547.
- Larkin J.H. (1983) The Role of Problem Representation in Physics // *Mental Models / Eds. D. Gentner, A.L. Stevens*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. P. 75–98.

- Loewenstein J., Gentner D. (2001) Spatial mapping in preschoolers: Close comparisons facilitate far mappings // *Journal of Cognition and Development*. Vol. 2. № 2. P. 189–219.
- Smith III J.P., diSessa A.A., Roschelle J. (1994) Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition // *Journal of the Learning Sciences*. Vol. 3. № 2. P. 115–163.
- Suppe F. (1972) What's wrong with the received view on the structure of scientific theories? // *Philosophy of Science*. Vol. 39. № 1. P. 1–19.
- Suppe F. (1974) The search for philosophic understanding of scientific theories: Introduction // *The structure of scientific theories* / Eds. T.S. Kuhn, F. Suppe. Chicago: University of Illinois Press. P. 244–254.
- Swanson H. (forthcoming) Refining everyday thinking through scientific theory building // *Deeper learning, communicative competence, and critical thinking: Innovative, research-based strategies for development in 21st century classrooms* / Ed. E. Manalo. Abingdon-on-Thames: Routledge.
- Swanson H., Collins A. (2018) How failure is productive in the creative process: Refining student explanations through theory-building discussion // *Thinking Skills and Creativity* (Advanced online publication). Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.03.005>, дата обращения 04.02.2019.
- Toulmin S.E. (1958) *Introduction to the Philosophy of Science*. Watford: William Brendan and Son.
- von Glasersfeld E. (1991) Abstraction, re-presentation, and reflection: An interpretation of experience and Piaget's approach // *Epistemological foundations of mathematical experience* / Ed. L. Steffe. New York: Springer. P. 45–67.
- Warren B., Ballenger C., Ogonowski M., Rosebery A.S., Hudicourt-Barnes J. (2001) Rethinking diversity in learning science: The logic of everyday sense-making // *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 38. № 5. P. 529–552.
- Wilensky U., Rand W. (2007) Making models match: Replicating an agent-based model // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. Vol. 10. № 4. Article 2. Режим доступа: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/10/4/2.html>, дата обращения 04.02.2019.