

## ЗНАЧЕНИЕ ФАКТОРА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ЦЕЛИ В ИНТЕЛЛЕКТНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ НАУЧНОГО ПОИСКА

*Докт. техн. наук, проф. КОЛЕШКО В. М., канд. техн. наук ГУЛАЙ А. В.,  
асп. ГУЛАЙ В. А.*

*Белорусский национальный технический университет*

Производительность компьютерного научного поиска во многом определяется теми же закономерностями, что и продуктивность мысли ученого, эффективность творческой деятельности вообще. Поиск нового знания с применением машинного интеллекта идет путями, направления которых обозначены человеческим разумом в процессе познания мира. С учетом этого в анализе компьютерных систем научного поиска целесообразно применение технологий и приемов исследования общеприродных явлений, оправдано привлечение биофизических и социотехнических аналогий. Признание этих истин предопределяет изучение принципов, на которых должны базироваться человеко-машинные интеллектуальные комплексы и которые явно выходят за рамки подходов, действующих в области проектирования технических структур. Важность осмысления этой проблемы возрастает в связи с резким увеличением возможностей машинной организации знаний, вызванным созданием мощных суперкомпьютерных систем и глобальных коммуникационных сетей.

**Проблема создания интеллектуальных систем инженерии знаний и научного поиска.** Проблема создания и применения интеллектуальных систем научного поиска требует изучения и анализа ее с различных точек зрения:

- методологической (идеологической): место интеллектуальной компьютерной системы и интегрального человеко-машинного комплекса в ряду новейших стратегий и технологий инженерии знаний;
- методической (технологической): структура взаимодействия интеллектуальной системы

с исследователем; циклограмма циркуляции информации и знаний в человеко-машинной интеллектуальной среде;

- инженерной, технической (проектирование интеллектуальной системы: средства реализации, алгоритмы функционирования, выполняемые функции, важнейшие характеристики, достигаемые результаты).

Науки, связанные с вопросами обработки информации, исторически поставлены в начало процесса исследования и проектирования интеллектуальной, «разумной» техники для осуществления научного поиска. Эти науки нуждаются, прежде всего, в определении методологических подходов к созданию компьютерных научно-поисковых систем. Концепции построения и тенденции развития интегральных человеко-машинных и интеллектуальных аппаратно-программных комплексов на основе использования новейших достижений информатики требуют тщательного и подробного анализа. Глубокое осмысление методологических проблем формирования интеллектуальных технологий инженерии знаний позволит выбрать наиболее рациональные и продуктивные пути их практического, конструктивного воплощения.

При рассмотрении интеллектуальных человеко-машинных технологий творческого поиска применимы самые общие подходы научного метода, в котором можно выделить следующие наиболее значимые для нашего рассуждения ступени: проведение необходимых наблюдений и поисковых экспериментов; выделение (абстрагирование) ключевых элементов полученных знаний как основы для гипотезы или теории;

развитие, расширение гипотезы, теории с предсказанием новых эффектов и явлений; сбор новых фактов (начало следующего цикла), которые ревизуют (верифицируют) предсказания теории. Если выдвигается новая гипотеза, условия испытаний и исследований изучаемого объекта изменяются и корректируются до тех пор, пока не происходит улучшение, уточнение теории. С появлением существенно отличающихся результатов гипотеза вообще отвергается, при этом формулируется новая гипотеза, которая согласуется с большим числом наблюдаемых фактов. Неудачные попытки опровергнуть определенную гипотезу, с одной стороны, укрепляют веру в нее, но, с другой стороны, не удается окончательно доказать, что эта гипотеза справедлива всегда; считается, что в экспериментальной науке абсолютная истина вообще не может быть достигнута.

Таким образом, наука всеми средствами своего логико-математического и технико-экспериментального аппарата постоянно выдвигает и проверяет все новые гипотезы, наиболее просто и правдоподобно объясняющие этот мир. Получающиеся при этом выводы и заключения не обладают абсолютной надежностью, но они ведут от предварительных гипотез к более общим и строгим теориям, выдерживающим все более тщательную проверку, определяют научный прогресс. Наиболее творческой процедурой здесь является выдвижение гипотез, которые вначале представляют собой лишь некоторые предположения, обобщения эмпирических данных большей или меньшей степени достоверности. Если гипотезы допускают упорядочение по рангам и между ними возникают дедуктивные соотношения, т. е. из более общей следуют частные гипотезы, то речь идет о создании теории. Установление теоретических законов и объединение отдельных теорий в достаточно стройную научную картину мира является неизменной и, по-видимому, недостижимой целью всеобщего научного процесса.

С точки зрения развития изложенного научного метода, анализируемая процедура автоматизации поискового процесса представляет собой, по существу, вариант интеллектуальной среды, ядром которой является ансамбль исследователей, генерирующих идеи решения научной проблемы, и экспертных систем, пред-

лагающих варианты поддержки принятия решений (рис. 1). При этом, что касается процедур синтеза гипотез, их наполнения и обогащения, оба компонента интеллектуальной среды (человек и машина) выступают «на равных», активно взаимодействуя и дополняя друг друга. Асимметрию в этот процесс поиска решений вносит необходимость выбора, предпочтения той или иной гипотезы или теории, право на который (т. е. выбор) остается за исследователем. При этом интеллектуальная среда, разумеется, в полной мере использует возможности традиционных логических, статистических, аналитических методов, а также аппарата экспертных систем по наращиванию знаний о свойствах объекта исследования.

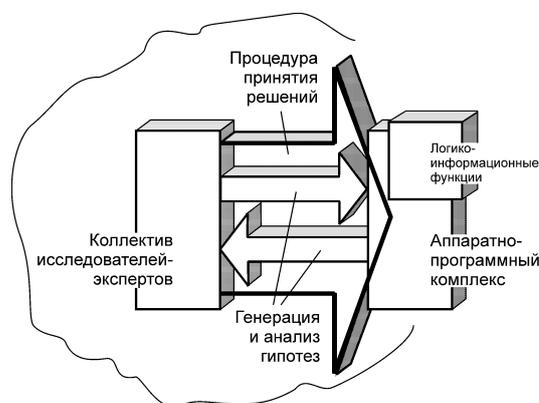


Рис. 1. Интеллектуальная человеко-машинная среда научного поиска

Интересно отметить, что прототипом интеллектуальной системы научного поиска в некотором смысле можно считать «изобретающую машину», созданную в 80–90-е гг. XX в. для автоматизации формирования новых технических решений. Идея «изобретающей машины» являлась преемницей известного с шестидесятых годов алгоритма решения изобретательских задач и не могла не воспринять его характерных свойств и особенностей. Методологической основой данного алгоритма являлись следующие компоненты: исторические тенденции развития техники, общие законы развития систем, законы развития технических систем. Можно сказать, что эти компоненты алгоритма решения изобретательских задач ориентировали его пользователей в большей степени на исторические аспекты развития техники, следовательно, на традиционные прототипы, в основном, совершенствования конст-

руктивов. Новизну в обозначенный круг поиска привносила разве что такая составляющая указанного алгоритма, как аналогии технических и биологических систем.

Однако именно в эти годы в технику и технологию хлынул поток открытий физики и химии, который привел к существенному преобразованию структуры объектов изобретательства. Создание химических методов синтеза и модификации веществ, а также открытие эффективных физических воздействующих факторов стало сильнейшим притягательным моментом изобретательской мысли, практически неиссякаемым источником плодотворных новаторских идей. В такой ситуации при разработке изобретающих компьютерных систем, конечно же, логичнее ориентироваться не на прошлые достижения техники и оформившиеся тенденции развития технических отраслей, а на новейшие направления развития науки, которые создают основы будущих фундаментальных преобразований в технологии и производстве. В связи с этим известный алгоритм решения изобретательских задач (в его изначальном понимании) утратил методологическую и методическую новизну и ведущую роль в автоматизированном проектировании инновационных объектов.

**Неопределенность научного знания как основа интеллектуальной технологии творческого поиска.** В философской литературе обсуждается проблема активизации творчества с учетом фактора неопределенности, причем различных уровней проявления неопределенности: как научного поиска отдельного ученого, так и творческого, поискового процесса вообще. Добытая истина в науке не только проясняет (снимает неопределенность), но и предлагает новые загадки (повышает неопределенность), поощряя искать адекватные решения. Неопределенность, возникающая, прежде всего, на главных направлениях науки, подготавливает развитие ее в совершенно неожиданных плоскостях, что демонстрирует неисчерпаемость науки, нескончаемость научного знания и научного процесса. Наука неизменно находится в состоянии непрерывного поиска творческих решений, так как не может решить ни одной проблемы, не поставив ряда новых вопросов. Поэтому при постоянном и непрерывном рас-

ширении горизонтов науки соответственно увеличивается поле неопределенности научного знания (рис. 2).

Размышления на эту тему мы находим у многих известных ученых, представляющих разные науки и научные направления. В частности, о возрастании неопределенности в науке Ф. Ф. Волькенштейн пишет: «Каждый успех наших знаний всегда ставит больше проблем, чем решает» [1]. И далее: «Несмотря на блестящие завоевания нашего ума, а может быть, именно благодаря им, мы продолжаем оставаться окруженными тайнами вещей. Они рождаются по мере того, как мы их разгадываем». При этом он приводит слова Луи де Бройля: «Каждая новая открытая земля позволяет предполагать о существовании еще не известных нам необъятных континентов».

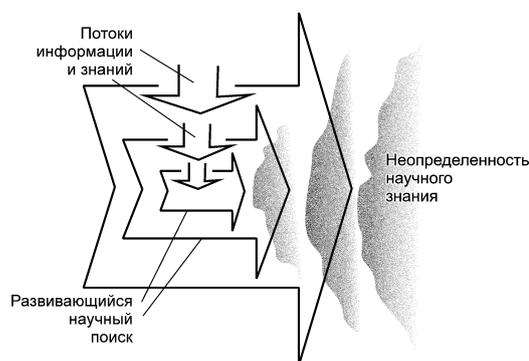


Рис. 2. Неопределенность научного знания в развивающемся поисковом процессе

При анализе фактора неопределенности в индивидуальном творчестве в качестве авторитетного аргументирования делаются ссылки, как правило, на описания известными учеными собственных научно-поисковых интеллектуальных алгоритмов. Так, Д. И. Менделеев характеризовал свой путь к открытию периодического закона химических элементов словами: «Мысль, остающаяся без опор в истории знания, вольна блуждать... сколько и куда ей угодно» [2] (подчеркнуто авторами). Более откровенно высказывался о своих творческих исканиях В. И. Вернадский: «Я вполне сознаю, что могу увлечься ложным, обманчивым, пойти по пути, который заведет меня в дебри, но я не могу не идти по нему, мне ненавистны всякие оковы моей мысли» [3] (подчеркнуто авторами).

Ситуация и состояние неопределенности сообщают мысли ученого желательную вариативность, обеспечивая раскрепощенность, раскованность мыслительного процесса. Свободный от заведомо обозначенных ходов и принятых регламентов ум ученого обретает возможность фантазии и риска, право выбора направлений и тем, благодаря чему становится вероятнее прорыв к глубинным пластам знания. Со временем исследовательский азарт ученого как страстного «коллекционера» инновационных идей превращает возможность научной фантазии в неизбежность творческого поиска, который определяет непредсказуемость выдвигаемых гипотез и предлагаемых теорий. Только на таких принципах возможно создание перспективных научно-технических решений, в таких условиях формируется ум ученого – истинный «генератор революционных идей».

В наибольшей степени рассчитаны на удачу именно поисковые научные эксперименты, при постановке которых невозможно предположить конечный результат (например, при реализации ранее недоступных или запредельных условий существования материи – высоких или низких температур и давлений, высоких интенсивностей или энергий физических полей). В этих случаях исследователем чаще всего руководит ожидание того, что в новых условиях он получит возможность либо проверить выдвигаемые гипотезы, выйдя за рамки применимости существующих теорий, либо реализовать условия для подтверждения теоретических моделей, основанных на экстраполяции известных из опыта закономерностей. Именно в результате таких поисковых научных работ исследователи наталкиваются на неожиданные открытия, и при этом наиболее ошеломляющие научные факты, оригинальные, неординарные технические решения как раз удивляют своей незапланированностью.

К примеру, подобного рода открытиями особенно изобилует, на наш взгляд, история изучения такого явления, как сверхпроводимость, – свойство многих проводников, состоящее в том, что их электрическое сопротивление резко падает до нуля при охлаждении ниже определенной критической температуры. В 1911 г. Камерлинг-Оннес совершенно неожиданно обнаружил явление сверхпроводимости

металлов – до настоящего времени факт этого открытия является ярким примером поискового эксперимента без четко осознанной идеи. Лишь спустя двадцать с лишним лет физики стали изучать важные для понимания этого явления магнитные свойства сверхпроводников, а еще спустя два десятилетия – тепловые свойства данных материалов. И в результате установили, в частности, существование так называемой энергетической щели, т. е. минимального количества энергии, которое могут воспринимать электроны металла, находящегося в сверхпроводящем состоянии. В течение почти полувека сведения об этом удивительном явлении – сверхпроводимости не выходили за рамки феноменологических описаний, и лишь в 1957 г. появилась первая достаточно строгая теория, основанная на учете квантовой специфики парного взаимодействия электронов проводимости металла с атомами его кристаллической решетки.

Последующие результаты научных изысканий в этой области также отличаются неординарностью и неожиданной логикой проведенных исследований и предложенных выводов. Так, в дальнейшем было описано явление гиперпроводимости тонкопленочных структур, которое проявляется в том, что тонкие металлические пленки в составе многослойных структур демонстрируют гораздо более высокие значения электропроводности, чем массивные образцы металла [4]. В 1986 г. ученые всего мира были неожиданно поставлены перед фактом открытия нового класса материалов, проявляющих эффект высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП): керамик на основе оксидов меди. Примечательно то, что эти материалы переходят в сверхпроводящее состояние не при температурах существования жидкого водорода и жидкого гелия (характерных для всех известных до этого сверхпроводников), а при значительно более высоких температурах (более 77 К).

Можно указать на ряд парадоксальных моментов, связанных не только с нашумевшими открытиями в области высокотемпературной сверхпроводимости, но и с совершенно противоположными фактами, когда исследователи задолго до обнаружения этого явления проходили буквально рядом с ВТСП-эффектом, не

заметив его. Так, в течение примерно десяти лет, с середины 70-х до середины 80-х гг. XX в., было разработано множество сложных соединений, включающих те же ингредиенты, что и ВТСП-материалы, только они входили в состав композиции в иной концентрации. Более того, в 1977 г. группе японских изобретателей был выдан патент США на сложное композиционное соединение, состав которого аналогичен ВТСП-керамике, и даже целью в данном случае было также повышение проводимости материала. Авторы изобретения показали, что сопротивление этих соединений изменяется в пределах четырех порядков величины в зависимости от состава вещества. Кажется, не хватило совсем немногого, чтобы открытие эффекта ВТСП состоялось лет на пять-десять раньше, чем это произошло на самом деле.

Сверхпроводимость продолжает преподносить сюрпризы: в январе 2001 г. научный мир был извещен об открытии нового сверхпроводника из ряда простых металлических соединений – диборида магния ( $MgB_2$ ). Факт открытия материала с температурой перехода в сверхпроводящее состояние 39 К, что значительно выше температуры перехода  $Nb_3Ge$  (около 23 К) – рекордсмена среди простых металлических сверхпроводников, вызвал у физиков замешательство: ведь десятилетиями полагали, что классическая сверхпроводимость в стабильных химических соединениях выше 30 К невозможна.

Дело в том, что в последние годы XX ст. исследователи сосредоточились на изучении таинственного и сложного мира ВТСП-материалов в надежде выяснить механизм этого явления и реализовать наконец в технических изделиях те фантастические возможности, которые сулит эффект сверхпроводимости [5]. С высочайшим энтузиазмом исследуя ВТСП-купраты, ученые совершенно игнорировали простые металлические соединения, будучи уверенными в том, что те переходят в сверхпроводящее состояние только при очень низких температурах. И в этом смысле результаты японских физиков застали врасплох ученых во всем мире. Собственно, неожиданным был этот результат и для авторов открытия, пытавшихся путем замещения кальция магнием получить химический аналог соединения  $CaB_6$ , которое,

будучи полупроводником, при легировании становится ферромагнетиком.

Научные открытия такого рода не вписываются в традиционную циклическую, замкнутую систему инновационного поиска при выполнении исследований, проведении разработок по конкретно сформулированным темам и заданиям. В цепи действий на пути к такому открытию нет целенаправленности, а поскольку нет соответствующей цели, следовательно, нет и ожидаемого совмещения результата с целью, в этом и состоит «неожиданность» открытия. Можно предположить, что по мере накопления обществом знаний, по мере лавинного умножения объема знаний относительное число таких спонтанных открытий будет увеличиваться. Но углубление познания явлений мира и соответственно расширение неопределенности знания делает все менее вероятной догадку о той закономерности, руководствуясь которой можно было бы в начале исследования сформулировать стратегическую цель поиска, а цель, в свою очередь, явилась бы ожидаемым результатом исследования.

**Неопределенность цели научного поиска в интеллектуальной человеко-машинной среде.** На такую проблему как неопределенность знания, особенно на первых шагах решения научных задач, когда только начинается творческий взлет в познавательном процессе, ученые давно обратили внимание. Например, И. И. Блехман с соавторами [6], рассматривая основные особенности применения математики к решению прикладных задач, а также типичных способов рассуждения в этом процессе, при анализе вопроса поисков неожиданностей, указывает: «Хотя отчетливое знание того, что именно мы ищем, существенно облегчает исследование и помогает организовать целеустремленный поиск, лишь в редких случаях можно с самого начала точно предвидеть, какие из результатов окажутся наиболее полезными. Гораздо чаще некоторые из интересных результатов неожиданно обнаруживаются лишь в процессе, иногда даже в самом конце исследования, план которого в связи с этим приходится по ходу дела перестраивать. Более того, не так уж редко в начале исследования имеется лишь довольно расплывчатое представление о его объекте и смутное ощущение “здесь что-то

есть”». А. Б. Мигдал подчеркивает чрезвычайно высокую значимость учета неопределенности поиска для получения конкретного научного результата: «Стремление сначала понять все до самого конца, а потом уже работать – очень частая причина неудач» [7].

Необходимость решения проблемы активизации творчества требует детального анализа тех причин, которые мешают применению нестандартных, нетрадиционных, новаторских приемов и непредвиденных поворотов ищущей мысли. Одно из препятствий, которое ограничивает, пресекает творческий взлет, ученые видят в безусловном и неукоснительном следовании утвердившимся установкам, догмам в научной методологии. «Инерционность мышления является одной из основных причин возникновения в исследовании *психологического барьера*, когда некоторый разумный, а может быть необходимый логический шаг не совершается, хотя для него имеется весь необходимый аппарат... Часто инерционность мышления порождается предвзятыми представлениями; иногда такие представления имеют математический характер, например основаны на вере в совершенство и универсальную применимость тех или иных математических сущностей. Классическим примером здесь может служить геоцентрическая система Птолемея; в устойчивости этого представления, наряду с антропоцентризмом, немалую роль сыграло убеждение о «совершенстве» кругов и сфер» [6].

Существует ряд технологий получения знаний (например, «мозговой штурм»), которые специально организованы таким образом, чтобы повысить психологическую раскрепощенность и побудить к генерации необычных идей (даже фантастических и абсурдных), позволяющих найти нетривиальное решение проблемы. Задача этих процедур заключается в том, чтобы в дальнейшем, при анализе совокупности выдвинутых идей, выудить те немногие, но невероятно ценные крупинки предлагаемых инноваций, порожденные на первый взгляд спонтанно, одномоментно, но на самом деле прошедшие через подсознание, трансформированные опытом и знаниями их авторов. Истоки таких технологий вполне могут быть основой интеллектуальной процедуры формирования знаний, опирающейся на аппаратно-про-

граммные системы. Логика представленных нами рассуждений позволяет провести ряд социотехнических и биофизических аналогий между неопределенностью научного поискового процесса, индивидуальным интуитивным алгоритмом ученого и технологией компьютерного формирования знаний в интеллектуальной среде.

В рассматриваемом случае, как и при индивидуальных или групповых технологиях творческого поиска, невозможен выбор точной и определенной позиции, которая заранее определила бы стратегию поискового процесса. Совершенно очевидно, что неопределенность влияет на выбор познавательных средств, предопределяя набор как образных представлений, так и методов изучения, фактически – весь арсенал орудий, привлекаемых в исследовании. Для достижения успеха приходится использовать недостаточно строгие категории и определения, понятия и образы, менять пути исканий и характер действий. Стремление «со старта» добиться строгости понятий и четкости ходов оборачивается возвратом к известному, привычному и традиционному, мешает выдвижению смелых предположений и гипотез. Отказ же от однозначных предварительных установок и ограничений дает значительно больше шансов испытать все доступные возможности и ближе подойти к желанной разгадке.

Основной особенностью, определяющей характерные черты интеллектуальной системы, ориентированной на поиск оригинальных научных идей, нетривиальных технических решений и продуктивных алгоритмов рациональной жизни, является начальная неопределенность цели [8]. Парадокс анализируемой стратегии интеллектуального поиска и функциональной реализации интеллектуальных систем заключается в том, что в данном случае исключается основной атрибут традиционного инновационного процесса – точное определение цели научного поиска. Единая цель процесса поиска не формулируется, ее заменяет система множественных частных, промежуточных целей-результатов, которые появляются и анализируются в ходе исследования (рис. 3). Первые шаги научного поиска интеллектуальной системы с неопределенностью цели могут иметь совершенно разные направления и выявлять широ-

кий спектр эффектов, порой не пересекающихся и не совпадающих друг с другом на начальном этапе исследования.

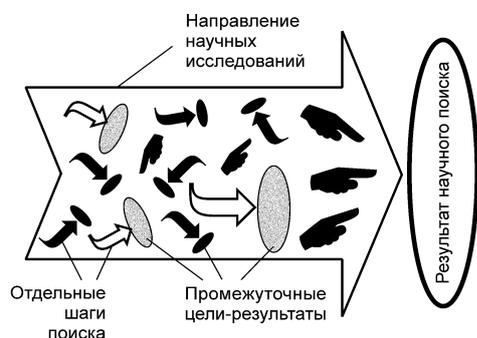


Рис. 3. Научный поиск в интеллектуальной среде с неопределенностью цели

Из неопределенности цели конечной, стратегической логично вытекает неопределенность частных, локальных целей и, естественно, промежуточных и предварительных итогов научного процесса. Эта неясность не позволяет оценить результативность отдельного шага научного поиска, адекватность и соответствие того или иного этапа исследования более общему творческому замыслу. В такой ситуации становится неопределенным принятие решения как о завершении очередного шага поиска, так и о направлении и даже необходимости последующего шага. В связи с этим приобретает особую важность использование при создании интеллектуальной поисковой среды такого научно-исследовательского инструментария, как теория принятия решений в условиях неопределенности.

Достойными задачами для интеллектуальной поисковой системы с начальной неопределенностью цели являются проблемы, которые перед началом исследования вообще невозможно точно сформулировать из-за их сложности, многозначности, опасности или по другим причинам. В «нулевой точке», в момент «запуска» интеллектуальной системы имеется только начальный информационный импульс – задаваемый блок информации самого общего вида и с возможно более широким и объемным представлением научной проблемы. Такой подход позволяет вовлечь в процесс изучения максимальное количество эффектов и их взаимовлияний, характеристик явлений и их взаимосвя-

зисимостей, а также инструментальных средств исследования свойств объектов.

Таким образом, сущность парадокса интеллектуальной технологии научного поиска и функционального построения интеллектуальных поисковых систем можно представить следующим образом: процесс исследования, достаточно протяженный цикл функционирования интеллектуальной системы проходит в ситуации, когда цель исследования не определена; в ходе процесса она выявляется и к его окончанию формируется в виде конкретного результата творческого поиска. Основная отличительная черта рассматриваемой интеллектуальной системы с начальной неопределенностью цели – отсутствие доминанты единой цели при всех промежуточных шагах исследования определяет вытекающие из этого характерные особенности интеллектуальной системы в части формирования потоков знаний, повышения ценности этих знаний, увеличения их вклада в предложенную гипотезу.

**Циркуляция знаний в интеллектуальной среде научного поиска с неопределенностью цели.** Для рассматриваемой интеллектуальной среды характерно многомерное, максимально широкое пространство научного поиска, не стесненное фактором цели, на котором происходят сложные взаимопереплетения и взаимоналожения отдельных шагов, включающих процедуры постановки экспериментов и построения моделей. Режим функционирования такого человеко-машинного интеллектуального комплекса – это динамичный подбор новых решений, отмена не оправдавших надежды путей, синтез гипотез и их совершенствование. Процесс создания нового знания в такой системе – это практики хаотического (фрактального) блуждания, переходов между различными возможностями, практики подборов и комбинирования новых возможностей. В хаосе отдельных шагов интеллектуальной системы научного поиска с неопределенностью цели как самоорганизующейся, нелинейной, динамической системы возникает скрытый порядок, характеризуемый структурами фрактального типа. Формирование новых знаний, которое на начальных шагах носит случайный, хаотичный характер, по мере развития поискового процесса становится все более упорядоченным, нацеленным

на получение конкретного результата (например, создание новых технологий, конструкций, веществ). Промежуточные цели-результаты постепенно к последним шагам научного поиска все чаще пересекаются друг с другом, превращаясь в единую цель, образуя основной результат.

Однако и этот конечный результат может быть совершенно своеобразно обозначен в рассматриваемом человеко-машинном интеллектуальном комплексе. В проведении поиска интеллектуальной системой с начальной неопределенностью цели возможна ситуация, которая в традиционном случае могла бы быть названа тупиковой. Это может быть, например, когда полученный в итоге результат недостаточно конкретен (конечно, с точки зрения традиционной технологии решения традиционных же задач). Такая «тупиковая» ситуация может быть неразрешимой даже после возвращения к некоторым предшествующим частным положительным результатам и выбора нового пути проведения дальнейшего поиска по иным алгоритмам, с привлечением других моделей, теорий и экспериментов. В данном случае следует признать достигнутый результат положительным, фактически «последним» на определенном этапе исследования, который (результат), конечно же, вскоре также может стать всего лишь промежуточным и даже начальным в развертывающемся, прогрессирующем научном поиске.

За счет привлечения новых знаний и технологий их обработки даже из других научных направлений и технических отраслей, на первый взгляд никак не связанных с областью проводимых исследований, происходит расширение пространства интеллектуального поиска. Источником пополнения информационных ресурсов и банков знаний интеллектуальной системы является также сам процесс ее функционирования. Система сама себя «реконструирует», расширяя и углубляя поле информационного поиска по мере открытия новых явлений и эффектов, создания оригинальных технических решений, а затем вовлечения полученных результатов в продолжающийся научный процесс. Найденные решения научно-технических задач и выявленные при этом проблемы могут ложиться в основу создания в объеме интеллек-

туальной системы и отделения от нее новых компьютерных и человеко-машинных структур даже с более высоким «уровнем интеллекта», чем ее собственный «разум».

Фактически вся процедура функционирования такого интеллектуального комплекса представляет собой «мозговой штурм» – технологию, весьма далекую от простого перебора вариантов, как иногда ошибочно считают. Причем в данном случае осуществляется многомерный «мозговой штурм»: при выборе целесообразного направления каждого отдельного исследовательского шага, при его реализации определенным набором наиболее продуктивных методов, а также при анализе общей картины исследования в виде совокупности принятых шагов. Таким образом, интеллектуальная система работает в напряженном режиме «постоянного мозгового штурма», в котором компьютеру и исследователю отведены следующие роли:

- исследователю: изучение, оценка предыдущей и организация следующей процедуры «мозгового штурма», т. е. задание новой «гипотезы» для проверки выбранными способами, в том числе по компьютерным технологиям;
- компьютеру: по заказу исследователя генерация предложений принятия решений (своеобразных гипотез, которые следует проверить), а также последующая их проверка программными методами (расчетным путем, математическим моделированием).

Можно сказать, что, участвуя в равной степени (конечно, об этом говорится с некоторой долей условности) в формировании гипотез, компьютер и исследователь по своим функциям в реализации каждого шага интеллектуального научного поиска все-таки существенно различаются (рис. 4). Указанные различия заключаются в том, что машина предоставляет свой формальный логико-информационный ресурс для выбора решений, а исследователю отведена дополнительная задача – принятия решений о правильности гипотез на всех шагах исследования.

Указывая на исключительно высокую роль исследователя в научном поиске и его особое влияние на процесс функционирования интеллектуальной поисковой системы, необходимо

в то же время подчеркнуть, что компьютерную систему в составе человеко-машинного комплекса не следует рассматривать только как инструмент в руках исследователя. В данном случае о ней можно говорить как о второй половине интегрального человеко-машинного интеллекта, которая активно участвует в наиболее творческой процедуре формирования знаний – создании гипотез, их анализе и проверке.



Рис. 4. Компоненты человеко-машинной интеллектуальной среды научного поиска

## ВЫВОД

Основной особенностью интеллектуальной системы, ориентированной на создание оригинальных научных гипотез, нетривиальных технических решений, является начальная неопределенность цели творческого поиска. Процесс создания нового знания в такой системе – это хаотичные шаги по синтезу гипотез и их совершенствованию, отмене непродуктивных путей поиска и выдвижению новых научных теорий. В хаосе взаимопереплетения и взаимоналожения отдельных шагов научного поиска

в интеллектуальной человеко-машинной среде возникает скрытый порядок, характеризуемый структурами фрактального типа. Формирование новых знаний, которое на начальных шагах носит случайный характер, по мере развития поискового процесса становится все более упорядоченным, нацеленным на получение конкретного результата. В наиболее творческих процедурах синтеза гипотез, их наполнения и обогащения оба компонента интеллектуальной среды (человек и машина) выступают «на равных», активно взаимодействуя и дополняя друг друга. Различия ролей в поисковом процессе заключаются в том, что компьютер предоставляет свой формальный логико-информационный ресурс для выбора решений, а исследователю отведена дополнительная задача – принятия решений о правильности научных гипотез.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Волькенштейн, Ф. Ф.** Физико-химия поверхности полупроводников / Ф. Ф. Волькенштейн. – М.: Наука, 1973. – 400 с.
2. **Менделеев, Д. И.** Периодический закон / Д. И. Менделеев. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1958. – 830 с.
3. **Вернадский, В. И.** Избранные сочинения / В. И. Вернадский. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1955. – Т. 2. – 616 с.
4. **Колешко, В. М.** // Изв. АН БССР. Сер. физ.-мат. наук. – 1976. – № 6. – С. 85–88; 7th Intern. Vac. Congr., Vienna, 1977. – P. 1871–1873.
5. **Способ** получения мишеней для изготовления тонких ВТСП-пленок: пат. 2064717 РФ / В. М. Колешко, А. В. Гулай [и др.], опубли. 27.07.1996 // Бюл. № 21; письма в ЖТФ. – 2006. – Т. 32, № 4. – С. 45–50; Techn. Phys. Lett. – 2006. – Vol. 32, № 2. – P. 158–160.
6. **Механика** и прикладная математика: логика и особенности приложений математики / И. И. Блехман [и др.]. – М.: Наука, 1990. – 360 с.
7. **Мигдал, А. Б.** О психологии научного творчества / А. Б. Мигдал // Наука и жизнь. – 1976. – № 2. – С. 100–107; № 3. – С. 100–107.
8. **Колешко, В. М.** Интеллектуальная система поиска научных открытий / В. М. Колешко, А. В. Гулай // Теоретическая и прикладная механика. – 2005. – Вып. 18. – С. 241–248.

Поступила 22.02.2008