

Анатолий ГУЛАЙ,
заведующий кафедрой «Интеллектуальные системы»
Белорусского национального технического
университета, кандидат технических наук,
лауреат Государственной премии

ПРОБЛЕМА АЛГОРИТМИЗАЦИИ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКОГО ПОИСКА

ВВЕДЕНИЕ

Одной из продуктивных областей человеческой деятельности, где проявляется наивысшее творчество, рассматривается научный и технический поиск. Творческий процесс в науке состоит из цикла, включающего выявление проблемы, решение отдельных задач из этой проблемы и создание теоретических основ ее описания. В научной работе задача заключается в том, чтобы найти новые явления, эффекты, закономерности, зависимости и дать им объяснение, основываясь на достигнутом уровне развития соответствующей отрасли науки и смежных научных областей. В отличие от научного поиска творческий процесс решения изобретательской задачи завершается рождением, отработкой и внедрением новой инженерной идеи, что позволяет получить значительные практические результаты.

Однако по мере ускорения эволюционных процессов в технике и в связи с усложнением объектов инженерного творчества все острее встает проблема рационализации и стимулирования технологий создания научных изобретений. В данном случае речь идет о разработке технических объектов на основе использования открытых наукой новейших эффектов и закономерностей, конкретнее: о фор-

мировании существенных признаков изобретения из знаний, полученных в разных научных областях. Решение данной проблемы требует разработки адекватных методов поиска изобретательских решений, приемов алгоритмизации и активизации творческого процесса. В связи с этим представляет существенный интерес задача анализа накопленных знаний в области создания и оптимизации технологий инновационного поиска.

С учетом вышеизложенного целью данной работы является выделение алгоритмической составляющей в различных методах поиска изобретательских решений, а также анализ приемов алгоритмизации поискового процесса. Рассматривается значение такого важнейшего компонента технологии изобретательского поиска как эвристический подход, позволяющий повысить эффективность процесса создания изобретения. Сопоставляются известные методики изобретательского творчества по включенности в их состав алгоритмических и эвристических составляющих. Особое внимание уделяется наиболее продуктивной технологии тренинга, основанной на использовании примеров алгоритмизации поиска решений технических задач – «Модерн ТРИЗ».

ЗНАЧЕНИЕ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКОМ ПОИСКЕ

Роль алгоритмического (детерминированного) и неалгоритмического (случайного) в изобретательском поиске рассматривается с позиций их комплементарности (аналогично значению данных элементов в общем процессе развития техники). Принимается, что изобретательская деятельность немислима за пределами принципа комплементар-

ности указанных компонентов поисковой технологии. В данной работе учитывается также сочетание процедур алгоритмизации на разных уровнях проблемы: субъективном и объективном. Субъективный уровень алгоритмизации синтеза изобретательского решения включает факторы познания и деятельности, способностей к творчеству, возмож-

ности творить. Объективный уровень проблемы алгоритмизации связан с системным характером технологий изобретательства и закономерностями эволюции научного знания.

Основой для формулирования изобретательской задачи считается возникновение и разрешение технического противоречия. Инженерная задача становится изобретательской, если преодолевается техническое противоречие между традиционным конструктивно-технологическим решением и перспективами совершенствования конкретного объекта. Данное противоречие обусловлено физическими причинами и проявляется в том случае, когда при попытке улучшить известными способами один компонент (повысить один параметр) технического объекта ухудшается другой его компонент (снижается другой параметр). В таком случае для получения положительного эффекта в разрешении проблемной ситуации требуется инновационный, нетривиальный подход. Можно сказать, необходимость в изобретательском решении возникает, когда нужно преодолеть противоречие между потребностью и имеющимися средствами.

На основе анализа многочисленных алгоритмов, описывающих поэтапно и достаточно подробно методики создания нового технического решения, можно составить обобщенную схему синтеза изобретения (рис. 1). Эта схема содержит следующие основные стадии: выделение объекта, требующего изобретательского подхода в его улучшении; изучение и описание известного объекта как аналога или прототипа; формулирование противоречий, подлежащих разрешению в создаваемом решении; поиск инновационного решения проектно-конструкторскими или эвристическими методами; определение перечня отличительных признаков нового технического решения; составление формулы изобретения и заявочных материалов на изобретение. Наиболее важным из указанных этапов, требующим действительно инновационного подхода, является поиск изобретательского решения.

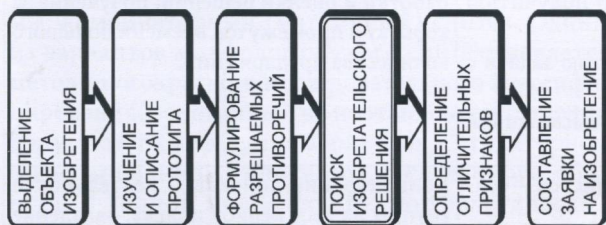


Рис. 1. Обобщенная схема синтеза изобретательского решения для его патентования

В качестве основы активизации изобретательского поиска и ускорения процессов формирования технических решений используются разные методологические, методические и процедурные подходы [1]. Например, в достаточно общем виде определяются и анализируются различного рода барьеры, ограничивающие изобретательское творчество. В данном случае рассматривается воздействие неблагоприятных исторических, гносеологических, психологических, социальных факторов и пред-

посылок на развитие изобретательского поиска. Выявляются также нежелательные эффекты, оказывающие влияние на формулирование противоречий при создании инновационного технического объекта. Однако наибольшие усилия специалистов разных направлений концентрируются на проблеме алгоритмизации изобретательского поиска, на создании методик и правил формирования новых технических идей.

Из всей совокупности используемых сегодня технологий изобретательского поиска особо выделяется подход, называемый «методом проб и ошибок» или «слепым перебором» [1]. Сущность данного метода состоит в том, что случайный поиск решения задачи проводится путем последовательных проб (подстановок) до тех пор, пока не будет найден приемлемый вариант. Порой в творческом процессе развивается определенная линия поиска решения, и если поиск заходит в тупик, то апробируется новое направление решения проблемной задачи. Процедура повторяется до тех пор, пока задача не будет решена или не будут перебраны все варианты. К перебору вариантов прибегают чаще всего из-за недостаточности информации и неопределенности знания о предмете изучения и решаемой задаче.

При анализе и обосновании значимости данного метода в творчестве даются ссылки на использование его величайшим математиком и механиком Древней Греции Архимедом. Указывается, что выдающийся американский изобретатель Т. А. Эдисон вел поиск наиболее удачных технических решений путем проверки многочисленных возможных вариантов. Достаточно совершенная на сегодняшний день теория развития научного знания, предложенная известным эпистемологом К. Поппером, основана на предположении, что поиск ведется методом «проб и ошибок» [2]. (Следует отметить, что более точное наименование данного метода поиска должно звучать, по-видимому, как «метод случайных проб и исправления ошибок»: он предполагает возможность случайных экспериментов и допускает возможность их неудачного результата).

Решение изобретательских задач методом проб и ошибок требует анализа всех формулируемых вариантов, число которых при рассмотрении достаточно сложных технических вопросов достигает значительной величины. При поиске изобретательского решения для сборки целого надо иметь характеристики, определяющие взаимосвязь частей в целом [3]. Как правило, при создании нового технического решения имеется неполная информация о целом, его частях и о связях между частями, при этом необходимо восстановить целое. Если принять, что иерархия связей отсутствует, и характеристики, определяющие взаимосвязь частей в целом, неизвестны, то из n фрагментов можно составить $n!$ (n -факториал) вариантов целого. При увеличении n число вариантов решения резко возрастает и поиск существенно усложняется. Поэтому в настоящее время метод систематического перебора используется при решении комбинаторных задач, возникающих в процессе исследования сравнительно простых объектов.

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ АЛГОРИТМИЗАЦИИ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКОГО ПОИСКА

При изучении сложных систем вводятся подходы, сужающие перечень возможных вариантов решения технической задачи в сравнении с методом «проб и ошибок». Чтобы в некоторой степени упорядочить, сделать более целенаправленным рассмотрение этих вариантов, разработаны многочисленные методы решения изобретательских задач, причем основываются эти методы зачастую на принципах смежных научных областей: психологии творчества,

методологии науки, истории техники. Каждый из рассматриваемых методов — это, фактически, борьба с перебором вариантов, поиск правил, ограничивающих случайный перебор. В нашем исследовании выделим те методы, которые позволяют наиболее отчетливо представить проблему алгоритмизации изобретательского поиска, показать роль и место алгоритмической составляющей в творческом процессе (таблица).

Таблица – Методы поиска изобретательских решений и активизации творческого процесса

Метод поиска изобретательского решения	Приемы алгоритмизации изобретательского поиска	Особенности, достоинства метода
1	2	3
Метод «проб и ошибок»	Возможна алгоритмизация метода при использовании компьютерных систем поиска знаний и выбора решений.	Огромная эвристическая сила метода, позволяющая использовать при синтезе алгоритмов аналогии биологического и социального характера.
Метод контрольных вопросов	<ul style="list-style-type: none"> • Составление перечня наводящих, подсказывающих вопросов; • подготовка ответов как путей решения технической задачи; • анализ возможных решений на основе полученных ответов; • выявление оптимального варианта или нового направления. 	Отход от привычных, устоявшихся представлений об объекте; преодоление психологической инерции в процессе поиска; изменение направления и расширение зоны поиска.
Метод морфологического анализа	<ul style="list-style-type: none"> • Выделение значимых параметров (функциональных узлов) объекта; • составление многомерной таблицы возможных сочетаний параметров; • анализ возможных решений с позиции достижения цели; • отбор наилучших вариантов для практического использования. 	Рассмотрение многообразия возможных вариантов исходя из закономерностей совершенствования объекта; получение максимально широкого сочетания характеристик и признаков разных вариантов объекта.
Метод «мозгового штурма» (брейн-сторминг)	<ul style="list-style-type: none"> • Разъединение участников на две группы: генерация идей и их анализ; • постановка задачи: что желательно получить и что этому мешает; • высказывание любых идей по решению задачи с их фиксацией; • поиск рационального зерна в каждой высказанной идее. 	Устранение помех творческому мышлению за счет разъединения процедур выработки и оценки решений; получение за короткий промежуток времени большого количества предложений.
Метод синектики – «объединения разнородных элементов»	<ul style="list-style-type: none"> • Подбор постоянной группы специалистов – «синекторов»; • освоение практики использования аналогий в решении задач; • анализ технической проблемы и поиск ее решения; • оценка результатов решения, их оптимизация и реализация. 	Концентрация поисковой деятельности группы на весь период поиска; овладение специальными приемами решения технических задач; более высокая эффективность, чем в случае «мозгового штурма».
Теория (алгоритм) решения изобретательских задач (ТРИЗ)	<ul style="list-style-type: none"> • Формулирование проблемы, содержащей противоречия; • определение цели (желаемого конечного результата); • разработка функциональной модели движения к цели; 	Четко сориентирован поиск артефактов-прототипов; предлагается выбор типа противоречия в прототипе; упрощен поиск моделей трансформации по каталогу. Применяется как методика тренинга в поиске изобретательских идей.

Продолжение табл.

1	2	3
	<ul style="list-style-type: none"> • выбор конкретной модели трансформации (преобразования); • нахождение нового решения артефакта-результата на основе ресурсов артефакта-прототипа. 	
Программа «Изобретающая машина»	Пошаговое движение в соответствии с алгоритмом компьютерной программы – экспертной системы поддержки принятия решения при поиске оптимального варианта.	Использование методики ТРИЗ при создании баз знаний экспертной системы.

Достаточно широкое распространение получил метод контрольных вопросов, при составлении которых и при поиске ответов на которые рассматриваются возможные пути решения стоящей изобретательской задачи, выявляются направления, выводящие на оптимальный вариант ответа. Группа первоначально составленных вопросов оперативно дополняется и конкретизируется за счет подсказок, как полученных в ходе применения метода поиска самим изобретателем, так и сделанных сторонними экспертами. Особенность составляемого перечня вопросов заключается в следующем: он, как правило, содержит указания только на то, что надо сделать, но не предоставляет объяснений, как это сделать. Поэтому данный метод творческого поиска используется на начальных стадиях постановки и решения относительно простых технических задач.

В сравнительно короткое время предложить большое число оригинальных технических идей позволяет морфологический метод изобретательского поиска. Он является одним из наиболее популярных методов изобретательского творчества, поэтому предпринимались неоднократные попытки его усовершенствования, предложен ряд модификаций морфологического метода. Например, способ систематического покрытия поля поиска; способ анализа экстремальных ситуаций; сопоставление эффективного и неоптимального решения; построение универсальной таблицы – фантограммы; комбинаторный (матричный) синтез. Одним из вариантов морфологического синтеза является метод многократного последовательного классифицирования, основанный на поэтапном сокращении допустимого множества вариантов и структурном (агрегированном) описании исследуемого объекта. В данной модификации морфологический метод позволяет увеличить детальность описания вариантов и повысить надежность их экспертной оценки.

Целью применения широко известного метода «мозгового штурма» также является получение за короткий промежуток времени достаточно большого количества предложений по решению проблемной задачи. Причем возник данный метод как стремление устранить одну из наиболее серьезных помех творческому мышлению – боязнь критики выдвигаемых идей. В целях устранения психологических помех метод мозгового штурма предполагает выдвигание и анализ любых идей, так как они могут

стимулировать появление более ценных предложений. Процедура поиска решения технической задачи проводится в два этапа: выдвигание разнообразных идей; выбор приемлемых предложений. Разновидностями метода являются обратный, индивидуальный, парный, массовый, поэтапный поиск и другие модификации.

Родственным методу «мозгового штурма» признается метод синектики, или объединения разнородных элементов. В основе данного подхода лежит метод мозговой атаки, однако поиск проводится, в отличие от традиционного мозгового штурма, не разово собранными, а постоянными группами исследователей. Одним из этапов реализации метода синектики является освоение практики использования аналогий: прямых (сопоставление с похожим объектом другой области техники и естествознания); личных (мысленное проникновение в механизм функционирования объекта); символических (подбор метафор для отождествления характеристик объекта со свойствами других предметов); фантастических (введение в рассматриваемый объект фантастического средства для выполнения задачи). Положительным качеством синектики является то, что она дает серию подсказок, помогающих разорвать круг привычных мыслей, когда к решению задачи необходим нетривиальный подход.

В основу такого метода как «теория решения изобретательских задач» положены представления об изобретении как о способе разрешения противоречия, которое имеется в артефакте-прототипе и отражает проблемную ситуацию в виде двух конфликтующих требований (свойств, состояний, функций, процессов) [4]. Идея ТРИЗ базируется также на том, что существует всего лишь несколько типов противоречий и ограниченное множество моделей трансформации – приемов изобретения. Причем методы устранения противоречий экстрагируются из известных примеров эффективных технических решений. С использованием принципов «теории решения изобретательских задач» создана компьютерная программа в виде экспертной системы «Изобретающая машина», позволяющая проанализировать исходную задачу, построить ее модель, выявить противоречие, мешающее получению желаемого результата известными путями, и указать направления поиска наиболее эффективного приема разрешения этого противоречия. Многочисленные приемы данного алгоритма и экспертной системы

способствуют активизации мыслительного процесса, облегчают исследователю выбор перспективного решения технической проблемы.

Разработаны методики, представляющие собой различные комбинации рассмотренных выше приемов решения изобретательских задач или включающие в себя элементы рассмотренных технологий. Например, метод семикратного поиска (как сочетание морфологического анализа с применением системы вопросов) содержит стратегическую и тактическую составляющие. Стратегический поиск делится на семь стадий, и сущность стратегии использования метода заключается в последовательном системном многократном применении морфологических матриц 7×7 . Тактическая часть применения метода состоит из практических приемов активизации

творческого поиска, используемых на разных стадиях процесса создания нового технического объекта, например, в случае, если поставленная задача не разрешена.

Существует также достаточно много других технологий инженерного творчества, в которых можно аналогичным образом выделить алгоритмическую составляющую. Это, например, следующие методы: последовательных уступок, ступенчатого подхода, матриц открытия, функционального изобретательства, многократного последовательного классифицирования и другие [1]. Общим недостатком их является низкая эффективность в поиске решения сложных инженерных задач, в создании оригинальных решений, открывающих новые направления науки и техники.

КОМПЛЕМЕНТАРНОСТЬ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И ЭВРИСТИЧЕСКОГО В ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКОМ ПОИСКЕ

Следует указать на определенную условность предложенной иерархической расстановки и представления основных характеристик рассматриваемых методов алгоритмизации изобретательского поиска и активизации творческой деятельности. Дело в том, что на сегодняшний день указанные методики не используются в «чистом» виде, они входят составными частями в более сложные технологии инновационного поиска. Более того, практически каждый метод поиска содержит в себе не только алгоритмические, логические, нормативные, но и эвристические, интуитивные, стохастические компоненты [5]. С развитием технологий творческого поиска разграничения между этими «противоположными» приемами существенно размываются. Более того, при использовании компьютерных поисковых систем стохастические процедуры также поддаются алгоритмизации, что во многом сближает их с нормативными компонентами.

Например, в методе контрольных вопросов некоторые из формулируемых вопросов, как правило, играют не направляющую роль в поисковом процессе, а выполняют эвристическую функцию. Метод «мозгового штурма» можно сказать, базируется на объединении эвристических подходов и механизма свободных ассоциаций. Одним из содержательных этапов метода синектики является освоение приемов аналогии, которые рассматриваются как эвристические, хотя и признается, что эти методы имеют нормативный оттенок. В технологии обучения ТРИЗ эвристические приемы используются, в частности, при анализе «ноосфер творчества» (когнитивной, креативной, психологической), а также при определении задач учебных студий.

Таким образом, важным дополнением к технологиям поиска изобретательских решений, которое позволяет повысить их эффективность, служат эвристические подходы и методики. За счет использования различных эвристических приемов, владение которыми важно для каждого изобретателя, достигается не только ускорение поиска решения техни-

ческой задачи, но и происходит развитие творческого мышления. На сегодня создан фонд указанных приемов, который учитывает ряд последовательных уровней решения изобретательских задач. Поиску оптимального изобретательского решения способствует прохождение различных уровней модификации объекта за счет преобразования его свойств, например, формы, структуры, материала, а также его изменений во времени и в пространстве.

Предложены также различные методы преодоления негативных особенностей мышления человека и формирования принципиально новых взглядов на стоящую изобретательскую задачу. Этому способствует, в частности, введение особых «режимов мышления» (стратегическими схемами, в параллельных плоскостях, с нескольких точек зрения и других), предназначенных для более глубокого осознания стоящих вопросов, для контроля над ходом поиска оптимального решения и приспособления образа мышления к задачам изобретательства. Такие же цели достижимы с использованием функциональных методов в виде последовательности операций по определению функций отдельных элементов объекта, выявлению основной функции и поиску путей ее совершенствования.

На свойствах памяти и интуиции основаны ассоциативные приемы активизации изобретательской деятельности [6]. Метод ассоциаций используется для разрушения стереотипных представлений о совершенствуемых объектах на стадии постановки задачи, поиска решения, при выявлении новых функций объекта и в других случаях. Его подвидом является метод фокальных объектов, основная цель при реализации которого заключается в усилении концентрации внимания на разрабатываемом объекте. Среди важнейших шагов по применению данного метода выделяются такие его этапы как определение фокального объекта и выбор случайных объектов, а также генерирование идей путем присоединения к фокальному объекту случайно выбранных объектов.

На выявление тенденций развития технических объектов направлен метод аналогий (используются функциональные, структурные, субстратные и другие аналогии). Достаточно продуктивным с точки зрения создания инновационных решений является поиск аналогий в функционировании технических систем и деятельности живого организма. Именно этот тип аналогий рассматривается в «теории решения изобретательских задач» в качестве одной из основных закономерностей развития технических систем. Сегодня в нейрокибернетике наиболее популярной аналогией представляется «компьютерная метафора», смысл которой состоит в отношении к естественному интеллекту как к компьютерному устройству и в рассмотрении различных качеств интеллекта по аналогии со свойствами компьютеров. По-видимому, кибернетическая модель мышления и поиска знаний может быть взята в качестве прототипа при анализе компьютерных технологий изобретательского поиска.

Анализ методов активизации изобретательского процесса был бы неполным без рассмотрения технологий тренинга на примерах алгоритмизации поиска решений технических задач. Наиболее известной из них на сегодняшний день является методика обучения основам ТРИЗ (в авторском варианте — «Модерн ТРИЗ») [7]. Инструментами обучения в данном случае, равно как и инструментами поиска решений, являются так называемые методы экстрагирования и реинвентинга (рис. 2). Они представляют собой извлечение противоречий и моделей трансформации из артефактов, а также моделирование (реконструкцию, восстановление) процесса изобретения. Следует отметить, что различные компоненты данного метода играют, с одной стороны, положительную роль в реализации достаточно эффективной методики анализа простых технических решений и, с другой стороны, являются непреодолимым препятствием в использовании ее для создания изобретений, основанных на новейших достижениях науки.

Анализ представленных методов решения изобретательских задач показал, что они позволяют очертить поле творческого поиска, но не приводят к созданию определенной траектории поискового процесса. При этом поисковые технологии представляют собой сочетание алгоритмического (формирование пространства вариантов) и стохастического (случайный перебор вариантов) начал в решении изобретательских задач. Ни один из известных способов решения технических проблем не устраняет случайного характера проведения наиболее важного этапа поиска — формирования целостного объекта.



Рис. 2. Схема реализации методики обучения основам изобретательства «Модерн ТРИЗ»

Можно сказать, известные приемы алгоритмизации поиска технических решений в той или иной степени противопоставляются методу перебора вариантов. Более того, некоторые методики изобретательства принципиально отрицают метод «проб и ошибок». Тем не менее, результаты исследований показывают, что, скорее всего, именно данный способ поиска инновационных решений может быть базисом изобретательских технологий при создании сложных объектов и систем. По-видимому, на основе принципов случайного поиска будут разрабатываться компьютерные системы построения новых гипотез и создания научных изобретений [8, 9]. Однако данная проблема, с учетом ее новизны и относительно слабого представления в научно-технической литературе, требует отдельного рассмотрения и методологического анализа.

Литература:

1. Шаршунов, В.А. Как найти и защитить свое изобретение : справочное пособие / В.А. Шаршунов. – Минск : Мисанта, 2009. – 335 с.
2. Поппер, К. Логика социальных наук / К. Поппер // Эволюционная эпистемология и логика социальных наук. Карл Поппер и его критики. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – С. 298–313.
3. Гулай, А.В. Логика развития знания в исследовательском движении / А.В. Гулай, А.И. Тесля // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Е. Педагогические науки. – 2012. – № 7. – С. 177–185.
4. Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения / Г.С. Альтшуллер. – М.: Моск. рабочий, 1973. – 296 с.
5. Гулай, А.В. Принцип комплементарности стохастического и алгоритмического в творческом поиске / А.В. Гулай, А.И. Тесля // Высшая школа. – 2012. – № 4. – С. 28–32.
6. Гулай, А.В. Интуиция как составляющая процесса поиска знаний / А. В. Гулай, А. И. Тесля // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Е. Педагогические науки. — 2013. — № 7. — С. 80–88.
7. Орлов, М.А. Через тернии к звездам. Истоки ТРИЗ и ТРТЛ – для будущих изобретателей, предпринимателей и инженеров / М. А. Орлов. – Минск : Харвест, 2013. – 192 с.
8. Колешко, В.М. Интеллектуальная система поиска научных открытий / В.М. Колешко, А.В. Гулай // Теоретическая и прикладная механика. Межведомственный сборник научно-методических статей. – 2005. – Вып. 18. – С. 241–248.
9. Колешко, В.М. Саморазвивающаяся интеллектуальная система поиска знаний: синергетическая парадигма / В.М. Колешко, А.В. Гулай, В.А. Гулай // Теоретическая и прикладная механика. Научно-технический международный журнал. — 2009. – Вып. 24. – С. 44–57.