

ширять, рассматривая креативность и внимание в контексте не только интеллекта, но также рабочей и кратковременной памяти, отдаленных и ближайших ассоциаций.

Другая перспектива исследований может быть связана с исследованиями захвата внимания, с тем, чтобы на эмпирическом уровне дифференцировать и операционализировать понятия не только дефокусированного, но также объема фокуса внимания и расфокусированного внимания. Дифференциация этих понятий представляется конструктивной и плодотворной, поскольку позволит пролить некоторый свет на то, как соотносятся между собой объем фокуса внимания, дефокусированное и расфокусированное внимание в зависимости от креативности.

В части параметров скорости обработки информации является важным показателем внимания. Но также важными являются и другие показатели, в частности количество и точность информации, которая пропускается через фокус внимания и подвергается обработке. Предположительно, количество информации может иметь более прямое отношение к объему внимания и расфокусированному вниманию, а скорость обработки информации – к дефокусированному вниманию. Точность обработки информации может быть связана и с количеством, и со скоростью обработки информации. Более того, скорость реакции и точность как показатели внимания могут иметь разные механизмы (Prinzmetal et al., 2005). В таком контексте исследования креативности в связи с вниманием по параметрам и скорости, и количества, и точности обработки информации представляют определенный интерес (см. также: Дорфман, 2006).

Еще одну перспективу исследований можно наметить в контексте вкладов свойств индивидуальности в креативность. Так, в русле метаиндивидуальной модели креативности (Дорфман, 2005, 2007; Dorfman, 2005) центральной является проблема детерминации креативности свойствами индивидуальности. Один из исследовательских вопросов, который ставится и изучается в рамках этой модели, касается медиаторов. Можно предположить, что параметры фокусированного и дефокусированного внимания выполняют роль опосредующих звеньев между определенными областями метаиндивидуального мира и креативностью. Это предположение основано на текущих данных, вписывается в метаиндивидуальную модель креативности и поддерживается данными о том, что внимание может менять направление, фокусируясь либо на внешних событиях, либо на внутренних факторах, таких как Я-концепция (см.: Vodner, Mikulincer, 1998). Модераторами и фасилитаторами дефокусированного внимания могут быть некоторые особенности личности – открытость опыту (Peterson, Carson, 2000), как и открытость опыту в комбинации с экстраверсией (Peterson et al., 2002).

Тема креативности и внимания весьма близка теории творчества Пономарева (2006) по общему духу. Одно из центральных положений теории творчества Пономарева – о побочных продуктах деятельности, в том числе роли подсказки. Имеется явное родство между понятиями побочного продукта и дефокусированного внимания. Побочный продукт – это конструкт, который шире конструкта дефокусированного внимания и не сводится к нему. Однако дефокусированное внимание – это конструкт, который легко вписывается в понятие побочного продукта. Представления о характере отношений между креативностью и интеллектом могут быть плодотворными для развития идеи Пономарева о вкладах в творчество интуитивного и логического полюсов мышления. Положение о вариативности фокуса внимания у креативных субъектов может быть конструктивной «подсказкой» в определении новых направлений развития теории творчества Пономарева.

# 14

## ТВОРЧЕСТВО И ОПЫТ ЕГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Один из возможных путей разработки теоретических представлений о когнитивных механизмах способностей – конструирование компьютерных (вычислительных) моделей, воспроизводящих аспекты интеллектуальной деятельности человека. Их идейную основу составляют теоретические модели психологических явлений, а выходные данные имеют формат, позволяющий сравнение с эмпирическими данными о психологии человека. В случае выявления соответствия между данными компьютерной модели и данными психологических измерений можно делать вывод об адекватности исходного психологического теоретизирования.

Проблема творчества является непростой для компьютерного моделирования, прежде всего в силу недостаточного понимания сути психологических процессов, связанных с творчеством. В большинстве случаев выдвигаются осторожные прогнозы. «В некоторой степени жалкое состояние дел с моделированием креативности, возможно, неизбежно вследствие нашего недостаточного понимания сути процессов, связанных с творчеством, таких как память, решение задач и репрезентация знания. Вероятно, попытка моделировать полноценный творческий процесс преждевременна» (Thornton, 2003, p. 3).

В настоящей работе была предпринята попытка моделирования творческого мышления исходя из подхода, рассматривающего в качестве его основы особенности организации семантической памяти и ее функционирование по активационному принципу. Предварительно мы обратимся к рассмотрению вопроса о том, какие проявления творчества могут сегодня моделироваться вычислительными средствами.

Работа, представленная в данной главе, поддержана грантом РГНФ, проект № 11-36-00226a1; ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2010–2012 гг., ГК No. 16.740.110294 от 7.10.2010 г.

## Творчество в вычислительной парадигме: подход М. Боден

Тему компьютерного моделирования креативности сложно очертить без упоминания имени Маргарет Боден, профессора Сассекского университета, «блестящего мастера по проведению идей из области искусственного интеллекта и когнитивной науки в массы» (Ram et al., 1995). Ее научно-популярная книга «The Creative Mind: Myths and Mechanisms» (Boden, 1990), первое издание которой вышло в свет в 1990 г., не только вызвала в научных кругах эмоциональный резонанс и критику, но, безусловно, оказалась для многих значимой отправной точкой для дальнейших размышлений о «творчестве машин». Для читателя-психолога чрезвычайно привлекательно выглядит декларируемая цель этой и последующих публикаций М. Боден: она ставит вопрос о том, как возможна креативность как психологический феномен и «какой свет компьютерные модели проливают на то, как возможна человеческая креативность?» (Boden, 1999). В размышлениях М. Боден представляются ключевыми три момента.

Во-первых, автор проводит терминологическое различие между креативностью исторической и психологической (соответственно H-creativity & P-creativity). Сущность этого различия составляет не столько критерий новизны творческого продукта (культурно-исторический или индивидуальный, субъективный), сколько критерий содержательный. Историческая креативность – историко-социологическая категория, имеющая отношение к культурным суждениям о новизне и ценности идей. Психологическая же креативность представляет собой когнитивный феномен, атрибут ментальных процессов, но не ментальных продуктов и, следовательно, законно является сферой применения технологий ИИ. По отношению к исторической креативности она первична и необходима. В то же время психологическая креативность предполагает и оценку человеком своей идеи (с точки зрения эстетической ценности, математической элегантности, научной простоты и т. д., а не просто новизны), и компьютерное моделирование не может не принимать этого в расчет.

Вторая важная идея М. Боден состоит в определении центрального для ее подхода термина – «концептуальное пространство». Понимая творчество предельно широко – как генерирование новых, ценных и осмысленных идей в самых разных областях (от научных открытий до произведений искусства), автор столкнулась с необходимостью обозначения его универсального механизма. «Концептуальное пространство – принятый стиль мышления в определенной предметной области. <...> Оно определяется набором разрешающих ограничений, которые позволяют генерирование структур, лежащих внутри этого пространства. <...> Если одно или несколько из таких ограничений изменяется (или отбрасывается), пространство трансформируется. Идеи, которые прежде были немислимыми (с точки зрения исходного концептуального пространства) становятся возможными» (Boden, 1999, p. 352).

Третий тезис М. Боден заключается в выделении трех типов креативности в зависимости от того, какого рода «операции» (в общем смысле слова) осуществляются в концептуальном пространстве для генерирования новых идей.

*Комбинаторная креативность* (combinational creativity) заключается в порождении новой идеи через необычную комбинацию (ассоциацию) известных идей. Ее примерами являются поэтические образы, метафоры, аналогии. В этом случае в концептуальном пространстве происходит соположение его элементов по принципам ассоциирования или построения аналогий, когда идеи имеют структурное сходство.

*Исследовательская креативность* (exploratory creativity) предполагает продвижение по концептуальному пространству в соответствии с его структурой (ограничениями) с целью обнаружения психологически новых (и даже исторически новых) его участков. «Нормальные» научные открытия, музыкальные и литературные произведения, живопись и архитектура являются собой примеры такого творчества. Нормальность в данном случае означает, что новая идея соответствует канонам традиционной для предметной области парадигмы, а само творчество состоит в исследовании содержания, границ и потенциала концептуального пространства.

И наконец, *трансформационная креативность* (transformational creativity) включает некоторую трансформацию (изменение) одного или нескольких (относительно фундаментальных) измерений, определяющих концептуальное пространство таким образом, что становится возможным порождение идей, немислимых ранее. Другими словами, она требует большего, чем простое следование принятым направлениям мышления в области и чем минимальное «отлаживание, подстройка» (tweaking) поверхностных измерений пространства, свойственное исследовательской креативности. Именно этот явление М. Боден соотносит с творчеством в полном смысле слова, подчеркивая его наиболее сложную природу и наивысшую ценность. Научные прорывы на уровне парадигм, «новое слово в искусстве» являются примерами «подлинной креативности».

Исследовательская и трансформационная креативность близки, незаметно переходят друг в друга, потому что «различение трансформации и «подстройки» в некотором смысле – вопрос суждения, но чем более четко определенным является пространство, тем более четким является различие» (Boden, 1998, p. 348). Однако именно фундаментальность трансформаций приводит к тому, что кардинально новые идеи поражают, а также не всегда немедленно понимаются и принимаются общественностью. Отмечая, что все три типа креативности ведут к порождению нового, хотя и разного по своим истокам, М. Боден оценивает трансформационное творчество как относительно редкое явление по сравнению с творчеством исследовательским. Новая трансформация открывает путь новому витку исследований.

Особый же интерес автора лежит в области компьютерного моделирования трех типов креативности, обзору примеров которого посвящены публикации автора 1990-х годов (Boden, 1998, 1999). По оценке М. Боден, с большим успехом сейчас осуществляется моделирование исследовательской креативности, что, однако, не свидетельствует о легкости и простоте этой задачи. Наоборот, оно требует мощной экспертизы предметной области, аналитических усилий для определения концептуального пространства и процедур исследования его потенциала. Однако комбинаторная и трансформационная креативность оказываются более неуловимыми сущностями для моделирования. Кратко причины этому М. Боден видит в трудности достижения в моделировании богатства ассоциативной памяти человека, а также в трудности определения наших ценностей и выражения их в вычислительной форме. Первая трудность подрывает попытки симулировать комбинаторное творчество, вторая – особенно проблематична для творчества трансформационного. Чтобы читатель (особенно далекий от компьютерной науки, но близкий науке психологической) получил представление об опыте моделирования творчества, очень кратко представим его обзор. Какие психологические модели могут быть поставлены в соответствие описываемым примерам?

## Комбинаторная креативность: моделирование ассоциаций

– Какая разница между пуганой вороной и письменным столом?  
«Вот это совсем другой разговор! – подумала Алиса. – Загадки-то я люблю! Поиграем!»  
– Кажется, сейчас отгадаю, – прибавила она вслух. <...>  
Пока все молчали, Алиса лихорадочно пыталась вспомнить все, что ей было известно про пуганых ворон и письменные столы. Сведений у нее, увы, было не так много. <...>  
– Так ты отгадала загадку? – спросил Шляпа, снова обернувшись к Алисе.  
– Нет, сдаюсь, – сказала Алиса. – А какой ответ?  
– Понятия не имею, – сказал Шляпа.  
– А я тем более, – поддержал Заяц.  
Алиса тяжело вздохнула.

Л. Кэрролл. Алиса в Стране чудес (1865)

Отец мой похож был на ворона. Мне пришло это в голову, когда я был еще мальчиком: увидал однажды в «Ниве» картинку – какую-то скалу и на ней Наполеона с его белым брюшком и лосинами, в черных коротких сапожках, и вдруг засмеялся от радости, вспомнив картинку в «Полярных путешествиях» Богданова, – так похож показался мне Наполеон на пингвина, а потом грустно подумал: а папа похож на ворона...

И. Бунин. Ворон (1944)

Мнение, что креативность имеет непосредственное отношение к семантической памяти и ее ассоциативным механизмам, является широко распространенным. Классический пример теоретизирования по этому поводу в психологии – подход С. А. Медника, в котором креативность понимается как способность ассоциировать между собой отдаленные элементы опыта, а индивидуальные различия в ней – как особенности строения ассоциативных иерархий (Mednick, 1962). Прохождение известного теста отдаленных ассоциаций, разработанного этим автором, напоминает мучения Алисы, пытающейся ответить на вопрос о вороне и письменном столе, с той лишь разницей, что в тесте речь идет о тройках слов (на первый взгляд не имеющих общего) и об их сходстве. Однако и более современные когнитивно-ориентированные концепции типа подхода к творческому познанию, развиваемого С. Смитом, Т. Вардом и Р. Финке (The Creative Cognition Approach, 1992), имеют корни в ассоцианизме. Не только центральные моменты инсайта, но и возникновение фиксаций, порождение метафор, действие подсказок рассматриваются здесь через призму ассоциативных закономерностей и факторов, определяющих возможность извлечения информации из памяти.

М. Боден рассматривает два варианта моделирования творческого ассоциирования, однако в обоих случаях проследить сознательную ориентацию авторов моделей на какую-либо психологическую идею механизма творчества сложно.

Первый пример – программа JAPE (Joke Analysis and Production Engine), генерирующая загадки-каламбуров, созданная К. Бинстед (Binsted, 1996). Программа создает загадки на основе девяти предложений-шаблонов типа «What do you get when you cross X with Y?», «What kind of X has Y?», «What's the difference between an X and a Y?» При этом она оперирует семантической сетью, которая содержит в себе

информацию о фонологии, семантике, синтаксисе и правописании слов, и в генерировании ответов учитывает противоречия между ними. Например, двусмысленность рождается в противоречии между одной фонологической формой и разным написанием и семантикой фраз: *Please announce her* и *Please, an ounce sir*. Примеры загадок-каламбуров этой программы таковы: (Q) *What kind of murderer has fiber?* (A) *A cereal killer*; (Q) *What do you call a strange market?* (A) *A bizarre bazaar*; (Q) *What's the difference between money and a bottom?* (A) *One you spare and bank, the other you bare and spank*. По сравнению с загадками, придуманными человеком, эти шутки менее смешны, как показали последующие исследования по их восприятию, однако детьми безусловно признаются шутками (Binsted et al., 1997). Среди них практически не встречается «брак», т. е. совершенно неудачные с точки зрения воспринимающего их человека варианты, что легко объясняется наличием заданных образцов и схем генерирования. JAPE – жестко детерминированный механистический шутник. Труднее говорить о психологических мотивах этой работы: ее автор оговаривает, что модель порождения загадок в большей степени основывается на генеративной лингвистике и исследовательском программировании ИИ, чем на психологических исследованиях (Binsted, 1996, p. 2)

Второе направление моделирования, в котором М. Боден видит перспективы для комбинаторного творчества, представляют коннекционистские компьютерные модели. Описывая в общем их известную природу и возможности, автор туманно говорит, что «их способности напоминают нам различные навыки творческого мыслителя» (Boden, 1999, p. 354). А именно, коннекционистские архитектуры могут а) восстанавливать паттерн активности при предъявлении его образца; б) распознавать сходства и различия между паттернами; в) распознавать знакомый паттерн-вход в присутствии шума. В таком случае задача уподобить Наполеона пингвину, бунинского героя – ворону и т. д. представляется лежащей в сфере их возможностей, хотя сегодня о подобных проявлениях креативности в коннекционистских моделях речь не идет.

## Комбинаторная креативность: моделирование аналогий

Представляется, что аналогия составляет долю любого открытия, но в некоторых она занимает львиную долю.

Дж. Поля. Математика и правдоподобные рассуждения (1954)

Феномен аналогии занимает центральное место в изучении научения и открытий. В его определении выделяют два аспекта: 1) аналогия как сходство, в котором одинаковые отношения содержатся в различных предметных областях или системах; 2) аналогия как умозаключение, что если два объекта сходны в одних отношениях, то вероятно они согласуются и в других.

Существуют разные способы классификации программ, посвященных мышлению по аналогии – например, в зависимости от лежащих в их основе архитектур выделяют символные, коннекционистские, смешанные модели. Однако, с точки зрения исходных теоретических психологических посылок, в отношении существа аналогии в моделировании представлены по меньшей мере два принципиально различных подхода. Первый подход трактует аналогию как структурное отображение одной предметной области на другую, при котором структурные отношения являются жесткими, неизменными (Д. Гентнер, 2011). Альтернатива – трактовка

аналогии и концептов как флюидных, изменчивых явлений (Д. Хофштадтер и его исследовательская группа – Fluid Analogies Research Group – FARG). Фокус же всех исследований в этой области направлен на процесс отображения, с помощью которого возможно понимание одной ситуации в терминах другой.

Теория аналогии как структурного отображения признается одной из самых (а то и самой) влиятельных в своей области. Этот подход основывается на исходной посылке, что аналогия – это вопрос отношений, а не черт. Не имеет значения, какое знание мы имеем (каузальные модели, планы, рассказы и т. п.): содержание аналогии определяется его структурными свойствами (т. е. отношениями между фактами). Общая внутренняя структура перевешивает различия в поверхностных структурах, и отношения более высокого порядка (между отношениями) предпочитают отношениям более низкого порядка (между объектами).

В этом подходе в функционировании аналогии выделяется несколько subprocessов: 1) *извлечение* из долговременной памяти примера, сходного или аналогичного актуальной ситуации; 2) собственно *отображение* (mapping), т. е. совмещение (сопоставление) структур репрезентаций двух явлений, и вынесение умозаключения, 3) *оценку* аналогии и соответствующих выводов, а также 4) *абстракцию* структуры, общей для двух аналогов и, вероятно, 5) *ре-репрезентацию* структур (Gentner, Forbus, 2011). Это представление положено в основу компьютерной модели SME (Structure-mapping engine), которая имитирует процесс отображения и обеспечивает структурную, независимую от предметной области количественную оценку сходства между предметами аналогии. При этом внутренняя структура, свойственная предметам аналогии, перевешивает различия в их поверхностных признаках.

Второй подход трактует аналогию и концепты как флюидные, изменчивые явления (Д. Хофштадтер и его исследовательская группа). Здесь аналогия трактуется как основа процессов распознавания и категоризации. Разработанные этим коллективом программы, по словам авторов, занимают промежуточное положение между символическими и коннекционистскими моделями: в них «диалектически» представлены восходящие и нисходящие пути переработки информации. Например, программа COPUSAT способна давать ответы на такие задачи, как «abc is to abd as xyz is to what?» (Hofstadter, Mitchell, 1995).

### **Моделирование исследовательской и трансформационной креативности**

Научные открытия, литературное и музыкальное творчество, визуальные искусства представляют собой сферы приложения соответствующих моделей исследовательской креативности. Для обнаружения психологически или даже исторически нового содержания в рамках модели должно быть определено, в терминах М. Боден, концептуальное пространство и обеспечены способы продвижения по нему. В таком случае встает закономерный вопрос об истинном творце, ставящем вопросы и предлагающем инструменты их решения. Кроме того, экспертные системы в области химии и физики, искусственные литературные творцы поэзии и прозы, компьютерные художники, программы-импровизаторы в области джаза не способны оценить собственные творения. Эта задача трудна и для моделирования.

М. Боден полагает, что трансформационной креативности релевантны программы, использующие генетические алгоритмы, а также способные изменять свои собственные эвристики и оценивать результаты своих решений. В области

математики такими программами являются AM (The Automated Mathematician) и EURISCO Д. Лена. Обе программы обладают эвристиками для «порождения» новых математических концептов из набора очень простых математических концептов. EURISCO также включает эвристики порождения своих собственных эвристик: эвристика более высокого порядка снижает вероятность обращения к неэффективной эвристике. Программы с генетическими алгоритмами представлены, например, в области графического искусства: каждое новое поколение программы К. Симса генерирует бесконечное количество цветных образов, не похожих на предыдущие.

### **Вычислительные и психологические модели творчества: грани соприкосновения**

На сегодняшний день когнитивное моделирование представляется довольно отстраненным от традиционного психологического теоретизирования по поводу творчества и от соответствующих эмпирических данных. Существует значительный – однако редко последовательно психологически обоснованный – энтузиазм в отношении создания программ, способных генерировать творческие продукты, сравнимые с аутентичными, или содействовать проявлению творчества человека. Однако главная задача когнитивного моделирования – продвижение к пониманию сущности креативности человека, связанной с переработкой информации, – остается делом будущего.

Существуют сложившиеся традиции определения творчества через особенности продукта (нового, осмысленного, оригинального) и особенности процессов (с одной стороны, недетерминированных, внезапных, бессознательных, специфически-эмоциональных, с другой – допускающих логическую проверку идей). Очевидно, что с психологической точки зрения раскрытие сути процесса является более сложной задачей по сравнению с выявлением особенностей продукта. И главное затруднение состоит здесь в описании перехода от немыслимого ранее к внезапному ясному ощущению найденного решения.

Психологические теории предлагают различные решения вопроса о том, что является когнитивным механизмом творчества: завершение схемы (О. Зельц); переформулировка задачи (К. Дункер); преодоление ментального блока, функциональной фиксации (К. Дункер, Р. Майер); нахождение аналога задачи (Д. Гентнер); случайная рекомбинация идей (Д. Саймонтон); дивергентное мышление (Дж. Гилфорд); ассоциирование отдаленных элементов опыта (С. Медник); взаимодействие логического и интуитивного режимов мышления (Я.А. Пономарев). С помощью этого – далеко не полного – набора конструкторов в психологии обозначались процессуальные характеристики порождения субъективно нового и интерпретировались данные экспериментов.

В центр внимания своей работы мы поставили одну из возможных интерпретаций сущности творчества, а именно – подход, рассматривающий в качестве его механизма функционирование семантической памяти, имеющей сетевую организацию.

### **Сетевые модели творчества**

Семантическая память содержит и организует личный опыт человека и приобретенные им знания с тем, чтобы сделать возможной их последующую переработку. В этой связи степень, с которой память функционирует оригинально или специфично, является ключевым моментом для творчества. Особенности «творческой»

работы долговременной памяти могут быть проявлены в трех главных мнемических процессах – кодировании, хранении, извлечении информации. Существует несколько теоретических подходов, рассматривающих, каким образом сетевая организация семантической памяти может быть соотнесена с креативностью.

Так, в разделе данного издания, посвященном активационной парадигме в исследовании творчества, подробно рассматривается коннекционистская по своей природе объяснительная модель К. Мартиндейла (Martindale, 1995) и активационно-символьный подход АСТ-R Дж. Андерсона (Anderson et al., 2004; Ушаков, 2006). Основываясь на разных исходных положениях о формате ментальных репрезентаций и описывая различные аспекты феноменов творчества, эти модели задают генеральные линии поиска в исследованиях сетевых свойств памяти и креативности. Он продолжается и в новых современных работах, два примера которых мы рассматриваем ниже.

Оригинальный подход к объяснению когнитивного механизма инсайта предлагает М. Шиллинг, проводя аналогию между функционированием семантической памяти и так называемой сети малого мира (small world network) (Schilling, 2005). В теории случайных графов сеть малого мира характеризуется тем, что среднее расстояние между двумя ее узлами удивительно мало, учитывая размер всей сети, редкость связей между ее узлами и их кластеризацию (Watts, Strogatz, 1998). В социальной психологии С. Милгрэмом описан феномен «знакомства через 6 рукопожатий» для любой пары людей в мире, который иллюстрирует это главное свойство такой сети. М. Шиллинг применяет положения теории графов к психологическому объяснению инсайта, рассматривая его как результат формирования новых свойств сети малого мира «в уме». Механизм инсайта автор трактует как возникновение нетипичной ассоциации благодаря случайной рекомбинации идей или направленному поиску, которое завершается созданием ярлыка в сети ментальных репрезентаций. Это приводит к быстрому сокращению длины путей между узлами семантической сети, переориентирует понимание человеком отношений внутри и между соответствующими репрезентациями, а также может служить толчком к возникновению следующего каскада новых взаимосвязей между ними. Автор показывает, что такое понимание согласуется как с исследованием семантических сетей, так и исследований физиологической структуры нейронных сетей. На примере классических инсайтных задач с помощью инструментов анализа теории графов М. Шиллинг удается показать, в чем заключается сходство инсайта с процессами обычного научения, а в чем – отличие, и почему инсайт часто сопровождается аффективным переживанием.

Л. Габора обращается к данным нейронауки в своей попытке описать, каким образом архитектура памяти поддерживает аналитический и ассоциативный модулы мышления (Gabora, 2010). Она рассматривает и дифференцирует нейронные ансамбли, по-разному реагирующие на общие и контекстно-специфичные аспекты ситуации. Сдвиг к более ассоциативному модулю мышления происходит благодаря вовлечению соответствующих нейронных ансамблей, чувствительных к микро-характеристикам проблемной ситуации. В связи с тем, что память распределенной и ассоциативной, становится возможным возникновение ассоциаций на потенциально релевантные задачи, закодированные в этих нейронах. Тогда творческое мышление будет заключаться не в движении по пространству предопределенных альтернатив и слепом подлаживании к тем из них, которые соответствуют определенным критериям, а в обнаружении отдаленно ассоциированных групп нейронов в распределенной ассоциативной памяти.

## Психологическая основа и общая характеристика вычислительной модели

В настоящей работе предпринята попытка моделирования творческого мышления исходя из подхода, рассматривающего в качестве его основы особенности организации семантической памяти и ее функционирование по активационному принципу. Психологический смысл разработанной модели состоял в том, что индивидуальные различия в креативности определяются спецификой связей, существующих между содержаниями семантической памяти человека: высокая креативность связана с наличием большего количества связей между отдельными содержаниями, что способствует извлечению оригинальных решений. Данная разработка представляет собой относительно простой, первоначальный вариант компьютерной модели семантической сети, на основе которой, тем не менее, удалось продемонстрировать продуктивность активационной парадигмы к объяснению некоторых феноменов креативности.

Суть предлагаемой модели можно кратко выразить несколькими положениями:

- 1) процесс творческого мышления разворачивается на основе знания, хранящегося в долговременной памяти в форме *семантической сети*;
- 2) процесс решения заключается в движении по сети, по ходу которого происходит извлечение узлов, обеспечиваемое их *активацией* (в терминах теорий А. М. Коллинза и Е. Ф. Лофтуса, Дж. Андерсона);
- 3) распространение активации от элемента к элементу семантической сети является *вероятностным* и заложено в свойствах элементов;
- 4) активационный статус элемента сети оценивается *по принципу «все или ничего»*;
- 5) индивидуальные различия в креативности определяются *спецификой связей* между элементами сети (высокая креативность связана с наличием большего количества связей между узлами, что способствует извлечению оригинальных решений).

Таким образом, процесс поиска решения на пространстве семантической сети определяется связями, существующими между элементами, а его результат – простым фактом обнаружением искомого решения. Компьютерное моделирование осуществлялось в операционной среде Matlab 6.

## Прототип семантической сети

В качестве прототипа семантической сети была использована матрица элементов 10x10, последовательно заполненная цифрами от 0 до 99. Внутри матрицы элементы располагались упорядоченно: начиная с левого верхнего элемента матрицы (имевшего значение «0») значения элементов возрастали по спирали от внешней границы матрицы к ее центру, в котором находилось самое большое ее значение «99» (рисунок 14.1). Ряд элементов матрицы был произвольно обозначен как «решения».

## Варианты нахождения решения

Скорость нахождения решения оценивалась путем подсчета числа шагов, после которого программа находила нужное значение. Алгоритм предусматривал два варианта поиска решения: *конвергентный* и *дивергентный*.

При *конвергентном* поиске решения осуществлялось последовательное распространение активации от элемента  $n$  к элементу  $(n+1)$ . При этом на каждом новом

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
35	36	37	38	39	40	41	42	43	10
34	63	64	65	66	67	68	69	44	11
33	62	83	84	85	86	87	70	45	12
32	61	82	95	96	97	88	71	46	13
31	60	81	94	99	98	89	72	47	14
30	59	80	93	92	91	90	73	48	15
29	58	79	78	77	76	75	74	49	16
28	57	56	55	54	53	52	51	50	17
27	26	25	24	23	22	21	20	19	18

**Рис. 14.1.** Матрица элементов, послужившая прототипом семантической сети. Жирным шрифтом выделены элементы матрицы, произвольно заданные как «решения»

шаге происходило сравнение значения в активном элементе со значениями, которые были заданы как решения. В случае, если значение соответствовало решению, процесс поиска останавливался, иначе – возобновлялся.

При *дивергентном* поиске происходило «скачкообразное» распространение активации от элемента  $n$  к элементу, расположенному на определенном количестве шагов от него, т. е. на более удаленном участке сети. Вероятность перехода на удаленный участок сети задавалась вероятностным свойством элемента матрицы. Так, при попадании поискового алгоритма на любой элемент матрицы и отсутствии в нем решения, существовала вероятность следующих событий:

- 1) переход активации на ближайший элемент в рамках конвергентного алгоритма поиска решения;
- 2) переход активации на элемент, находящийся на расстоянии нескольких шагов от исходного, на новом ближайшем витке конвергентного алгоритма поиска решения;
- 3) переход активации на элемент нового витка конвергентного алгоритма поиска решения, являющегося вторым по удаленности от первого витка поиска.

Соответственно по вероятностным свойствам элементы семантической сети могли принадлежать к одному из трех типов:

- 1) первый тип элементов – 80% вероятность события 1, по 10% – вероятность событий 2 и 3 (элементы, обеспечивающие распространение активации преимущественно по конвергентному алгоритму поиска);
- 2) второй тип элементов – 50% вероятность события 1, 40% – вероятность события 2, 10% – вероятность события 3 (элементы, обеспечивающие в половине случаев распространение активации по конвергентному алгоритму поиска, в 40% – по новому ближайшему витку поиска);

- 3) третий тип элементов – 50% – вероятность события 1, по 25% – вероятность событий 2 и 3 (элементы, обеспечивающие в половине случаев распространение активации по конвергентному алгоритму поиска, в остальных случаях – на первый и второй ближайшие витки поиска).

### Индивидуальные различия в семантической сети

Дифференцирование трех типов элементов сети по вероятностным свойствам позволило в дальнейшем ввести индивидуальные психологические различия для «виртуальных испытуемых», связанные со спецификой распространения активации по семантической сети. Была сгенерирована выборка матриц (т. е. «виртуальных испытуемых»), в которых концентрация элементов определенного типа обуславливала ее склонность к преобладанию дивергентного поиска.

Разработанный алгоритм позволил создать несколько вариантов матриц.

Матрицы первого типа («высокреативные») содержали по 60 элементов третьего типа, 20 элементов второго типа и 20 элементов первого типа.

Матрицы второго типа («низкреативные») содержали по 60 элементов первого типа, 20 элементов второго типа и 20 элементов третьего типа;

Матрицы третьего типа («среднекреативные») содержали примерно одинаковое количество элементов всех трех типов.

Таким образом, у матриц первого типа эта склонность к дивергентному поиску была самой высокой, у матриц второго типа – самой низкой.

### Оригинальность решений

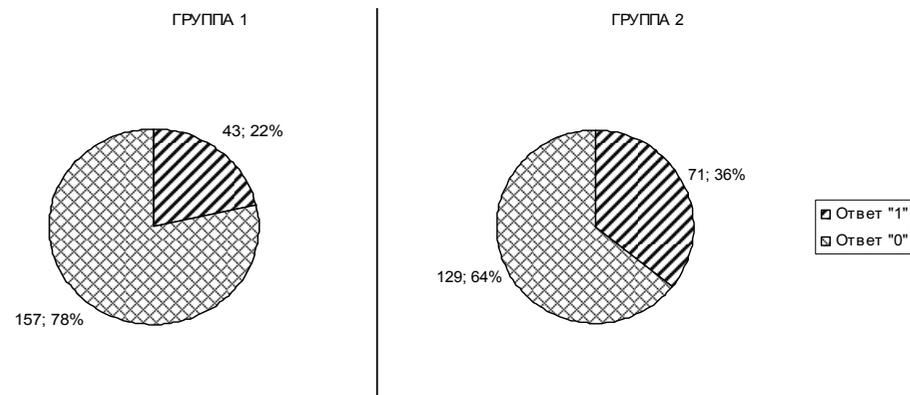
Благодаря спиральному строению матрицы были заданы «банальные» и «оригинальные» решения: банальным решением считалось значение элемента матрицы, которое будет найдено с большей вероятностью при использовании конвергентного поиска (числа 5, 9, 16, 19, 28). Оригинальные решения были более удаленными от начала поиска решения (числа 64, 67, 70, 73, 76).

### Оценка предсказательных возможностей модели

Для оценки предсказаний модели было проведено следующее исследование. «Виртуальными испытуемыми» выступили группа «высокреативных» матриц (5 матриц первого типа) и группа «низкреативных» матриц (5 матриц второго типа). В качестве решений были выбраны восемь значений: банальные решения – числа 5, 9, 16, 19, 28; оригинальные решения – числа 64, 67, 70, 73, 76. В каждой матрице поиск происходил в течение 4 серий по 40 раз до нахождения одного из вышеописанных решений. Регистрировалась скорость нахождения решения (т. е. число шагов), а также принадлежность решения к банальным или оригинальным.

### Гипотезы

- 1) Для всех типов матриц число оригинальных решений будет меньше, чем банальных.
- 2) У «высокреативных» матриц число оригинальных решений будет больше, чем у «низкреативных» матриц.



**Рис. 14.2.** Соотношение «банальных» (0) и «оригинальных» решений (1) для «низкокреативных» (группа 1) и «высококреативных» (группа 2) матриц

- Для всех типов матриц вероятность нахождения оригинального решения будет увеличиваться с числом шагов.

#### Результаты

- Сравнение числа банальных и оригинальных ответов по критерию хи квадрат показало, что их соотношение отличается от случайного в обеих группах: для «высококреативной» группы 64% и 36% соответственно,  $\chi^2 = 64,98$ ,  $p < 0,0001$ ; для «низкокреативной» группы 78% и 22% соответственно,  $\chi^2 = 16,82$ ,  $p = 0,00004$ . Число оригинальных решений во всех случаях меньше, чем банальных (рисунок 14.2).
- В группе «высококреативных» матриц среднее число оригинальных ответов составило 14,2, в «низкокреативной» – 8,6 (различие незначимо по критерию Манна-Уитни,  $p = 0,14$ ,  $U = 5,5$ ; представляется необходимым увеличение объема выборки для повышения надежности результатов)
- Сравнение количества шагов программы до нахождения решения демонстрирует большее число, необходимое для нахождения оригинального решения ( $M = 11$ ) и меньшее для нахождения банального решения ( $M = 5$ ) в обеих группах.
- Корреляционный анализ показал зависимость между числом шагов и оригинальностью ответа. Для «низкокреативной» группы:  $r = 0,4$ ,  $p < 0,001$ . Для «высококреативной» группы:  $r = 0,3$ ,  $p < 0,001$ .

Этот результат соответствует эмпирическому феномену паттерна распределения оригинальности в последовательности ответов, согласно которому первые ответы являются менее оригинальными по сравнению с завершающими последовательность, описанному Т. Любартом и К. Муширу (Mouchiroud, Lubart, 2002). Интерпретация данного результата с позиций сетевой семантической модели может заключаться в том, что поиск решения представляет собой путь распространения активации по дугам, соединяющим узлы сети. Более оригинальные ответы представляют собой объединения отдаленных узлов сети, для активации которых соответственно необходимо большее время.

#### Перспективы исследования

В настоящее время авторами разрабатывается второй вариант модели, в котором процесс поиска решения на пространстве семантической сети определяется 1) весами связей между элементами сети, отражающими как общекультурные, так и уникальные особенности знания, 2) набором индивидуально-психологических параметров, определяющих активационный статус элементов сети (в соответствии с положениями когнитивной архитектуры АСТ-R Дж. Андерсона). Психологический смысл такой модели состоит в том, что индивидуальные различия в креативности определяются спецификой связей, существующих между содержаниями семантической памяти человека, обусловленной общекультурным и индивидуальным опытом, а также закономерностями активационной динамики, отражающей взаимосвязи и опыт извлечения содержаний памяти.