

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТАНОВЛЕНИЯ СТАТИСТИКИ КОГНИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

О.П. Рыбак

Статья посвящается методологическим проблемам статистического изучения развития когнитивных технологий – одного из фундаментальных направлений развития науки и технологий, по своей значимости сопоставимых с нано- и биотехнологиями, информационно-коммуникационными технологиями. Развиваются концептуальные положения, первоначально изложенные автором в статье «Методологические подходы к организации статистического наблюдения за когнитивными технологиями» в журнале «Вопросы статистики», № 3 за 2016 г.

В данной публикации делается акцент на эскизной прорисовке методологической платформы организации статистического мониторинга когнитивных технологий, выработке логики классификационных подходов к упорядочению множеств направлений развития и результативности науки, технологий, производства продукции, товаров и услуг. Для формирования исходных методологических предпосылок становления статистического мониторинга дается единое и списочное определение когнитивных технологий по аналогии с подходами, реализованными ОЭСР применительно к нанотехнологиям и биотехнологиям. Обосновывается базовый параметрический уровень когнитивных технологий. При обсуждении вопросов критериев отбора научных дисциплин в состав междисциплинарного «пула» когнитивных наук вводится понятие и предлагается к применению когнитивный инжиниринг.

При рассмотрении проблем организации мониторинга технологического базиса когнитивных технологий анализируются примеры разнообразных методов инструментальных исследований из десятков самых разных областей науки и технологий – от традиционной микроскопии до оптохимии и компьютерного моделирования. Для приведения всего разнообразия применяемых технологий в некую упорядоченную компактную систему использован принцип пространственной организации применяемых технологий.

В развитие небольшого международного опыта построения классификаций в статье предлагается оригинальный принцип построения локального классификатора, предусматривающего группировку результатов в формате стратегических фундаментальных направлений развития когнитивных технологий, а также направлений в сфере производства и обращения продукции, товаров и услуг в формате интерфейсов: мозг – общество – мозг человека (BCI, BMI и др.).

Ключевые слова: статистика инноваций, когнитивные технологии, единое и списочное определение когнитивных технологий, базовый параметрический уровень, когнитивный инжиниринг, критерий междисциплинарности наук, технологический базис, классификационный принцип пространственной организации применяемых технологий, стратегические фундаментальные исследования, продукция, товары и услуги прикладных исследований, конвергированные большие технологии.

JEL: C81, C82, D80, O31, O32, O33.

Развитие когнитивных технологий представляет один из самых динамичных секторов развития науки и технологий. На развитии когнитивных технологий сфокусированы десятки научных дисциплин, новейшие технологические разработки фундаментальных наук. Ожидаемые результаты исследований и разработок в сфере когнитивных технологий сопоставимы с эффектом экономического освоения космоса, процессов термоядерного синтеза, биотехнологий, нанотехнологий и других базовых технологий современности.

Развитие когнитивных технологий получило активное продвижение практически во всех экономически развитых странах. В на-

шей стране исследования и разработки в сфере когнитивных технологий проводятся на уровне университетов, специализированных институтов и медицинских клиник. В Японии и Китае приняты национальные программы развития когнитивных технологий. В США и Евросоюзе предпочтение отдается крупным исследовательским проектам и программам.

Наряду с проектными формами развития когнитивных технологий, происходит активизация традиционных направлений исследования мозга и мозговой деятельности человека, концентрация на долгосрочной основе совместных разработок физиков, химиков, нанотехнологов, биотехнологов, нейробио-

Рыбак Олег Павлович (niistat@hotmail.ru) – канд. экон. наук, директор НИИ статистики Росстата (г. Москва, Россия).

логов, психонейрологов, молекулярных биологов и представителей других наук. Формируются исследовательские приоритеты в познании, создаются поражающие воображение своей изобретательностью новые методы исследований. По ключевым направлениям развития когнитивных технологий, например таким, как поиск новых методов регистрации и управления энергетикой нейронных цепочек, осуществляется реализация своеобразных координационных программ (BRAIN), призванных исключить дублирование в исследованиях и повысить эффективность используемых ресурсов.

Начиная с 1982 г. Международной организацией по психофизиологии (I.O.P.), которая получила аккредитацию при ООН, проводятся регулярные конгрессы, официальное название которых - «Olympics of the Brain» (Олимпийцы мозга). Международные форумы по проблемам когнитивных технологий с периодичностью раз в два года проходили в различных странах, в том числе и у нас в стране - в Казани, Санкт-Петербурге и Москве. Научные форумы собирали по 500-600 ученых мировой значимости более чем из 60 стран. Международные форумы являются теми активными площадками, на которых происходит обмен новейшими достижениями, познание предпочтений в научных исследованиях и прикладных разработках в различных странах и научных школах.

Развитие когнитивных технологий в значительной мере осуществляется под воздействием рыночного спроса на когнитивные знания, которые можно было бы использовать для борьбы с заболеваниями головного мозга и особенно болезнью Альцгеймера и Паркинсона, при создании искусственного интеллекта, конструировании различных интерфейсов. Познание уникальных свойств мозга и мыслительных процессов способствует формированию новых когнитивных направлений развития в управлении, образовании и экономике.

Познание мозга и мозговой деятельности - проблема вселенской сложности, познание «познания» - это своеобразный космос, где найдется место многочисленным исследованиям, технологиям, теориям, фантазиям. Важно упорядочить их в некую стройную систему, с четкой целевой функцией, задачами и

направлениями развития. Пока что научные познания в сфере когнитивных технологий осуществляются в виде самоорганизующейся научной исследовательской системы, ориентированной на отдельные значимые результаты. Однако при колоссальных темпах обновления исследовательских программ и роста масштабов их реализации всегда наступает момент перехода количественных изменений в оценку качественного состояния. Возникает вопрос о развитии когнитивной системы в целом, о том, что достигнуто за последний период, какие направления исследований освоены и какие приоритеты выстраиваются, какой ресурсный потенциал задействуется для научных исследований и разработок, параметры основных рынков и тенденции их развития. Ответ на вопросы такого рода находится в организации системы информационного мониторинга, который по аналогии с биотехнологиями и нанотехнологиями осуществляется либо частными аффилированными компаниями, либо государственными структурами.

В настоящее время в ОЭСР разработаны методологические положения по мониторингу больших технологий, которые успешно реализуются в мировой практике, в том числе и в нашей стране. В силу своей объективной специфики методологические положения имеют существенные предметные отличия при организации мониторинга нанотехнологий, биотехнологий и информационно-коммуникационных технологий. Однако в рамках методического инструментария существуют общие подходы, которые мы и попытаемся реализовать в настоящей работе.

1. Общеметодологические подходы мониторинга когнитивных технологий. Ключевым вопросом в методологии является научное обоснование определения когнитивных технологий. Несмотря на большое разнообразие научных определений, делавших акцент либо на междисциплинарности, либо на искусственном интеллекте, либо на интерфейсах «мозг-компьютер» и т. п., следует отметить, что они отображают лишь частности развития глобальной технологии.

В своих методологических положениях относительно биотехнологий и нанотехнологий ОЭСР рекомендовала применение двух

определений: единого определения и списочного, которое по мере накопления знаний подлежало уточнению. Такой подход целесообразен и для когнитивных технологий.

Основываясь на методологических принципах ОЭСР, *единое определение* когнитивных технологий можно представить в следующей интерпретации: «применение науки и технологии к познанию мозга и мозговой деятельности, а также к их частям и моделям в целях использования полученных знаний для производства новых знаний, товаров и услуг во благо человека».

В данном определении акцентируется внимание именно на синтезе науки и технологий в процессе получения новых знаний. Единое определение технологий сопряжено с разработкой соответствующих классификаторов направлений развития когнитивных технологий, а также подготовкой локальных классификаторов когнитивной продукции, товаров, услуг. Общеметодологическими принципами организации мониторинга предусматриваются также разработка системы статистических показателей, патентной статистики.

Списочное определение призвано конкретизировать единое определение посредством его индикативной интерпретации. Это определение носит уточняющий характер и может централизованно изменяться (в сторону уточнения и расширения состава позиций) по мере появления новых знаний и результатов, меняющих представление о когнитивных технологиях. Пересмотр списочного состава осуществляется централизованно организацией - разработчиком методологии или странами - учредителями международной организации (применительно к большим технологиям - это традиционно ОЭСР), принявшей методологию.

Принципиально важным для определения списочного состава технологий является маркировка их стартового уровня. Практически во всех технологиях этот уровень определяется рядом параметров, основные из которых - наличие структуры и размерность. В нанотехнологиях - это наноструктуры, с размерностью 1-100 нм, в биотехнологиях - клетка с размерностью до 300 нм и ее более дробные живые молекулярные и атомарные структуры (ДНК/РНК, протеины и др.). Применительно к когнитивным технологиям в качестве базового

уровня следует принять нейрон и нейронные сети. Размерность нейрона выходит за нанометрический уровень и переходит в более крупный масштаб измерения - микрометры. Нейрон имеет удлиненную форму и достаточно сложное строение. В среднем размеры нейрона составляют 5-150 мкм (5-150 тыс. нанометров).

В первом приближении основу списочного определения когнитивных технологий могут составить:

- нейроны, нейросети;
- нейрональные и ненейрональные глиальные клетки, дендриты и аксоны;
- нейронные подструктуры.

По мере рассмотрения новых аспектов развития когнитивных технологий списочная компонента подлежит дополнению и уточнению.

Таким образом, предметная сторона когнитивных технологий будет представлена уровнем нейронов и нейронных сетей, а также приграничных клеточных (молекулярных) и нейронных подструктур. Наука и технологии, практикующие свои исследования и разработки в этих параметрах нейроструктур, будут относиться к сфере когнитивных технологий. По этим же критериям будет осуществляться отнесение научных и производственных организаций и предприятий, осуществляющих научную и производственную деятельность, с последующим разграничением по уровню специализации.

В дальнейшем, с уточнением реальных направлений развития когнитивных технологий, составлением перечня действующих научных и производственных предприятий и организаций можно приступать к разработке системы статистических индикаторов, опросных листов, программ маркетинговых обследований и проведения форсайтов.

2. Наука и междисциплинарность в когнитивных технологиях. Собственно познание является безусловной сферой научной деятельности, которую формируют множество научных дисциплин. Познание процессов познания исторически базируется на вековых традициях, одна из которых - наращивание числа научных дисциплин и точных наук для раскрытия тайн мозговой деятельности и усиление координации между ними.

Возникающая междисциплинарность наук является одним из основных свойств когнитивных технологий и необходимым условием их развития. В ряде случаев междисциплинарность воспринимается как достаточное условие для реализации когнитивных технологий, что не совсем верно. Большинство дисциплин сами по себе являются междисциплинарными науками, осуществляют автономное развитие и вступают во взаимодействие с другими науками лишь при реализации общей возникшей задачи на определенную временную перспективу. Поэтому в контексте когнитивных наук следует предусматривать междисциплинарность определенного уровня.

Для статистики, имеющей дело со свершившимся фактом, междисциплинарность будет представлять интерес на предмет состава научных дисциплин и параметров, отражающих их взаимодействие между собой и применяемыми технологиями исследования головного мозга и мозговой деятельности.

В методологическом отношении систематизация научных дисциплин, формирующих междисциплинарный «пул» когнитивных технологий, может определяться в первом приближении при наличии формальных признаков тематического объединения. Например, следуя этой логике, к когнитивным наукам можно отнести нейропсихологию, нейробиологию, нейроанатомию, коннектомику (новая наука о связях нейронов и нейронных сетей) и другие нейронауки. Однако в таких случаях возникает вопрос о достаточности состава, да и как быть с остальными научными дисциплинами, а также существует ли расширительный вариант трактовки междисциплинарности когнитивных технологий.

Очевидно, что любые инсинуации с научными дисциплинами и междисциплинарностью в обособленном формате познания не приведут к созданию объективного перечня наук когнитивных технологий. Здесь попросту нет критериальной основы для отбора научных дисциплин.

В научном определении когнитивных технологий акцент делался не на междисциплинарности как таковой, а на взаимодействии науки и технологий в процессе познания. Собственно организация научных дисциплин между собой (междисциплинарность) относительно разработки новых технологий или

применения действующих технологий исследования мозга и процессов мозговой деятельности и определяет позиционирование науки в части познавательной деятельности. Однако и в этом варианте не будут обеспечены условия для объективного отбора наук в состав междисциплинарных в части научного обеспечения применяемых технологий, а также прикладного использования полученных знаний для производства товаров, продукции и услуг, проведения новых НИОКР.

Очевидно, что нужно уходить от подбора отдельных критериев и формировать состав наук когнитивных технологий на общесистемных принципах. В качестве основы можно использовать организационную схему построения инжиниринга в инвестиционных проектах.

3. Когнитивные инжиниринговые системы.

Собственно инжиниринг (англ. *engineering* от лат. *ingenium* - изобретательность, выдумка, знания) в когнитивных технологиях - это взаимодействие и координация ученых, технологий, производителей по выработке обоснованных приемов и способов, применяемых при изучении, проектировании и получении новых знаний и производстве когнитивных товаров, продукции и услуг.

В рамках инжиниринговых схем селекция наук в категорию междисциплинарных может осуществляться в следующей последовательности:

А. Наличие общей идеи проведения комплексного исследования и разработки, выработка цели и стратегии проведения работ. Целевая функция может определяться научным сообществом как «от науки», так и «от производителя», например фармацевтической отрасли, или же заказчиком может выступать любая технологическая сфера исследований. В любом случае на уровне формирования цели работ может быть определен первичный состав научных дисциплин, чьи представители принимают участие в подготовке проекта.

Б. Предпроект. Конкретизация целевых функций, построение «дерева целей», проработка деталей предстоящего проекта, составление виртуальной модели реализации. Уточняются ожидаемые результаты, выясняется необходимый ресурсный потенциал, в том числе предварительный состав научных групп,

применяемых технологий исследований, их потенциальное научное обеспечение и сопровождение. Если проектом предусматривается проведение экспериментов или построение моделей, то состав исследователей расширяется за счет включения математиков, компьютерщиков, программистов и т. д. Формируется творческий коллектив из ученых различных научных дисциплин, объединенных общим исследовательским интересом.

В. Реализация проекта. Происходит творческое применение исследовательских технологий, со стороны научного сообщества выполняется научное сопровождение исследовательского процесса и контроль промежуточных результатов. Состав исследователей и представительство наук могут быть расширены.

Г. Постпроект. Контроль полученных результатов со стороны проектировщиков и основных заказчиков. Аналитическое и экспертное обобщение полученных результатов. Здесь все определяется масштабностью проведенных научно-технологических разработок, новизной и значимостью для прогресса знаний. Состав исследователей и разработчиков может пополниться представителями аналитической философии или представителями философских практик, экономистами и технологами производственной сферы, маркетологами и т. д. Постпроектная стадия исследований и разработок может подразделяться на отдельные организационные взаимосвязанные фрагменты по дальнейшему использованию полученных научных результатов в производстве когнитивной продукции (товаров или услуг) или в новых опытно-конструкторских разработках.

Использование принципов построения инжиниринговых схем позволяет конкретизировать весь инновационный цикл реализации конкретной когнитивной технологии - от научного замысла до практического воплощения, постадийно, без предпочтений. При таком подходе появится возможность объективно определить не только состав научных дисциплин, участвующих в реализации каждого проекта, но и их количественные параметры, такие, как численность исследователей, затраты на исследования, доля каждой научной дисциплины в совокупных затратах, конвергенция наук, результативность применяемых методов и технологий и т. д. Реальное же

представление о полном составе научных дисциплин, участвующих в реализации когнитивных технологий, можно получить при обобщении данных всех конкретных реализованных проектов. Естественно, междисциплинарность будет являться своего рода собирательным образом, обладающим комплексом количественных и качественных параметров.

На наш взгляд, междисциплинарность относится к традиционным свойствам развития больших технологий и может рассматриваться как проблема второго плана. В состав основных проблем организационного плана выходит проблема проектного статистического учета. Когнитивная технология на стадии исследования и разработок для статистики - это всегда комбинирование науки и технологии в рамках конкретного проекта; все остальное - просто либо наука, либо технология, имеющие опосредованное отношение к когнитивным технологиям.

Проектная статистика представляет откровенно слабое звено не только для статистического учета, но и для банковского сектора (как средство упорядочения валютных операций и ограждения от валютных спекулянтов), а также финансового регулирования инвестиционных потоков. В то же время становление проектной статистики можно рассматривать в качестве составного информационного элемента функционирования глобального банка данных когнитивных технологий. Эта информационная система организационно может включать на уведомительном принципе данные о запусках проектов. По действующим долгосрочным проектам могут предусматриваться промежуточные отчеты по отдельным этапам проектов. По завершенным проектам представляется полный отчет о результатах проведенных исследований. Создание информационной системы, действующей на принципах открытости и доступности к конечным результатам исследований и разработок, необходимо в первую очередь самому научному сообществу. Информационная система позволит избежать дублирования и ненужных финансовых затрат на стадии выбора проекта когнитивной технологии, провести коррекцию собственных исследований на имеющийся опыт, формировать исследовательские междисциплинарные коллективы, оптимизировать их состав и т. д.

4. Технологии и методы когнитивных исследований и разработок. На любом этапе научно-технического прогресса технологии всегда представляют способ соединения работника (исследователя) с доступными материально-техническими ресурсами: инструментами, оборудованием, различными материалами. Поэтому состав технологий и их развитие определяются накопленными знаниями, научно-профессиональным уровнем и инструментальной исследовательской и экспериментальной базой. Качественный рост любого из трех приведенных факторов создает предпосылки для совершенствования действующих или создания принципиально новых технологий в исследованиях и разработках. Собственно так и происходит в системе когнитивных технологий. Вначале были систематизированы знания об общих принципах мозговой деятельности человека, познаны свойства определенных частичек мозга. Затем начал разрабатываться комплекс неинвазивных (то есть не требующих хирургического вмешательства) инструментальных исследований коры головного мозга, а параллельно с ними и инвазивных методов. Современные исследовательские когнитивные технологии отличаются гигантским разнообразием. Однако для комплексного изучения их необходимо каким-либо образом систематизировать. Поиск системообразующего признака, который обеспечивал бы полноту учета и системность когнитивных технологий, – достаточно сложная проблема, поэтому в первом приближении предлагается некий рабочий вариант, основывающийся на использовании принципа пространственной организации применяемых технологий относительно мозга. Для практической реализации данного принципа воспользуемся классическими определениями технологий проведения научных экспериментов с живой материей:

In vivo (лат.-буквально в (на) живом), то есть внутри живого организма или внутри клетки.

In vitro (лат. – в стекле) – это технология выполнения экспериментов, когда опыты проводятся «в пробирке», – вне живого организма. В общем смысле этот термин противопоставляется термину *in vivo* – эксперимент на живом организме (на человеке или на животной модели).

Ex vivo (лат. – из жизни) означает то, что происходит вне организма, то есть проведение

экспериментов в живой ткани, перенесенной из организма в искусственную внешнюю среду.

In silico – термин, обозначающий компьютерное моделирование (симуляцию) эксперимента, чаще биологического; был создан по аналогии с фразами *in vivo* и *in vitro*. Термин по написанию близок к латинскому выражению *insilicio* – в кремнии, поскольку кремний как полупроводниковый материал играет важную роль в производстве компьютерного оборудования.

Возможно, эта классификация не позволит учесть специфические методы дистанционного зондирования, реализуемые в формате космических технологий измерения энергетического потенциала мозговой деятельности человечества Земли или других фантастических проектов. Представляется, что по мере появления новых технологий классификация может быть расширена. Нужно с чего-то начинать. Для более четкого понимания предметной стороны применяемых методов, обоснования целесообразности их включения в состав когнитивных технологий остановимся на описательной стороне еще и с тем, чтобы убедиться в грандиозности замыслов и идей исследователей, восхититься виртуозностью их воплощения.

К технологиям *Ex vivo* можно отнести традиционные методы применения (электронной) микроскопии, которые с полной уверенностью можно причислить к классическим методам изучения структуры мозга, нашедшим применение в лабораторной практике клинических исследований. В нашей стране начало системных исследований можно отнести к 1925 г., когда была создана Лаборатория по изучению мозга В.И. Ленина. В качестве руководителя научных исследований был приглашен немецкий невролог О. Фогт, до этого возглавлявший с 1919 г. Нейробиологический институт в Берлине. Для микроскопических исследований Фогтом было сделано свыше 2,5 тыс. срезов головного мозга вождя. После первых успешных исследований в 1928 г. Лабораторию реорганизовали в Государственный институт мозга (ГИМ), разработки которого были ориентированы на поиск материальной базы «психической одаренности». Весной 1934 г. московскому партактиву было доложено, что у

В.И. Ленина отмечено необычайно богатое ветвление нейронов третьего слоя лобной части коры головного мозга, что и предопределило с большой вероятностью его гениальность. Программа исследований постоянно расширялась, как и лабораторный «материал» - мозги представителей системы партийного руководства (И.В. Сталина, Л.И. Брежнева, Ю.В. Андропова и др.), культуры (К.С. Станиславского, Л.В. Собинова, М.А. Булгакова, Анри Барбюса и др.), ученых (Л.Д. Ландау, С.П. Королева, А.Д. Сахарова и др.), многих других одаренных исторических личностей. Трудно сказать, чем увенчались поиски нейробиологических основ одаренности, но мысль о реалиях расчленения человеческого тела и виртуальное представление «мозгорубки» во имя псевдонаучной идеи вызывает удручающие ощущения.

Тем не менее, как направление научных исследований, электронная микроскопия получила активное развитие, и в этой сфере сформировалось несколько направлений и научных школ. Прежде всего, следует выделить Национальную лабораторию оптоэлектрических наук и технологий в китайском городе Вухань, где была разработана технология микроскопической томографии (MOST). Для проведения исследований мышинный мозг пятидневного самца пропитали растительной смолой, при застывании которой была достигнута плотность, оптимально подходящая для резания алмазным ножом. С его помощью получали срезы толщиной не более одного микрометра (10^{-6} м). В общей сложности было сделано 15380 срезов мозга, которые оцифровали, получив восемь терабит уникальной информации. Построенная с ее использованием трехмерная карта показала положение нейронов, а также «сетевые» особенности соединения отростков нервных клеток (аксонов). Вся эта картина впоследствии получила название «Коннектом В».

Следует отметить исследовательскую группу Д. Личтмана, профессора клеточной и молекулярной биологии Гарвардского университета, которая занимается созданием и развитием новой науки - коннектомики. Для исследований используются срезы толщиной 30 нанометров, производимых, как и в Вухани, алмазной резкой. Получаемое разрешение - гигантское, оно позволяет рассмотреть мель-

чайшие частички нейрона. Посредством поверхностного натяжения воды происходило расправление полученных тончайших пленок, которые затем наносились на кремниевые чипы, где они и пробивались электронным лучом. Полученные электронограммы поступали в компьютер, где происходили монтаж и реконструкция нейронных структур, а также нервных клеток. На обработку 7 тыс. изображений уходит не менее трех дней. Это означает, что на создание детализированного Коннекта мышинного мозга, состоящего из сотен миллионов нейронов, уйдет несколько лет, да и то при условии создания соответствующей базы электронного хранения и обработки данных. Специалистами подсчитано, что оцифровывание субмикроскопической информации, полученной при рассмотрении электронограмм одного кубического миллиметра мозговой ткани, потребует петабайт хранения (в Facebook, например, подобный объем информации приходится на 40 млрд фото).

Параллельно с микроскопией начал разрабатываться комплекс неинвазивных (то есть не требующих хирургического вмешательства) инструментальных исследований коры головного мозга (In vitro). В 1920 г. Г. Бергер предложил метод электроэнцефалографии (ЭЭГ), который посредством размещенных на голове датчиков позволяет регистрировать электрическую активность сотен тысяч нейронов при различных режимах прохождения сигналов. Появившийся позднее метод функциональной магнитно-резонансной томографии (ФМРТ) позволял фиксировать участки мозга по уровню интенсивности работы его отдельных частей. Методы функциональной томографии совершенствуются, появляются новые, такие, как позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ). Появление технологий неинвазивного исследования - ЭЭГ, МРТ, ПЭТ стало прорывом в исследовательском арсенале ученых, позволившим существенно расширить знания о человеческом мозге. Не утратив исследовательских функций, технологии In vitro дополнили диагностический арсенал мировой медицины и получили широкое распространение в лечебной практике. Однако дальнейшее использование этого типа технологий для получения новой информации о мозге в значительной мере сопряжено с тех-

ническим совершенствованием применяемых аппаратов и в целом приближается к исчерпанию исследовательских горизонтов. Эти методы исследований не позволяют пока напрямую и в полной мере регистрировать активность нейронов и их соединений.

Арсенал знаний о мозге и мозговой деятельности огромен и постоянно расширяется. Существует достаточно четкое представление об атомарной и клеточной структуре нейронов, их организации и принципах взаимодействия между собой. Но этих знаний недостаточно для понимания процессов, лежащих в основе базовых функций мозговой деятельности.

Следующий шаг в исследовательском процессе мозга состоит в переходе от уровня отдельных нейронов к их группам, к пониманию того, как эти группы взаимодействуют между собой. Переход к новому качеству, обусловленному особенностями взаимодействия на уровне групп нейронов или образующих их структуру клеток, сопряжен с изучением свойств эмерджентности, то есть свойств, которые невозможно узнать на уровне отдельного элемента и которые проявляются только в результате взаимодействия структурных элементов. Это гигантская по сложности работа, ибо она сопряжена не с изучением одного или группы нейронов из их сотни миллиардов, а с триллионами соединений. Исследование отдельных нейронных сетей показало, что при проведении электрических сигналов задействуются тысячи нервных клеток. Однако дать вразумительное объяснение тому, как эти нейронные цепочки и сети формируют основные когнитивные функции мозга, пока не получается. Возможно, удастся прояснить ситуацию с завершением проекта по построению карты всех связей (синапсов) нейронов мозга человека (Human Connectome Project), а быстро развивающаяся молодая наука «коннектомика» поведаст нам об удивительных открытиях из мира взаимодействия нейронов. В составе первоочередных проблем здесь выделяется поиск точного инструментария регистрации постоянно меняющихся электрических сигналов в нейронных сетях, обуславливающих реализацию конкретных когнитивных функций. Действующие методы не отличаются необходимым высоким разрешением и объемом.

Дальнейший этап развития когнитивных технологий исследования сопряжен с переходом к пониманию природы сложных комплексов мозговой деятельности человека, раскрытию тайнств реализации когнитивных функций мозга - восприятия информации, памяти, выработки поведенческих решений, эмоций, сознания и др. Задачи более чем амбициозные. Основные исследовательские акценты были смещены в сторону создания комплекса технологий *In vivo*, предполагающих проведение экспериментов и исследований внутри живой ткани. Следует отметить, что переход к принципиально новому комплексу исследовательских технологий стал возможен не только благодаря прогрессивным изменениям в области научного потенциала в соответствующих отраслях науки и производства, но и пожалуй самое главное, благодаря реальному созданию «команд» ученых-единомышленников, а также реализации нового качества интеграции наук и инструментальных технологий, объединенных единой целью исследования и стремлением эффективного использования преимуществ интегрируемых наук.

Нейробиологи в сотрудничестве с генетиками, химиками, физиками и нанотехнологами разрабатывают систему оптических методов регистрации потенциалов в клетках нейронов. При оптической регистрации потенциала в нейрон вводят краситель для измерения активации клеток. Во время прохождения по клетке электрического сигнала и смены своего знака на потенциале мембраны краситель флуоресцирует. Специальные приборы регистрируют это явление. Этот метод получил название метода оптической регистрации сигнала. Химики разрабатывают более совершенные и безвредные для живой клетки красители, способные реагировать на генерацию нервных сигналов. Специалисты молекулярной биологии создали датчики напряжения, закодированные в геноме. Разработки нанобиотехнологов сфокусированы на создании полупроводниковых частичек (квантовых точек), которые регистрируют квантово-механические эффекты на клеточном и нейронном уровнях. Из квантовой области науки в арсенал исследователей поступил наноалмаз. Он чувствителен к колебаниям электрической активности клетки и обладает высокой



Рис. 1. Технологический базис когнитивных технологий

точностью измерения. Собственно исследовательская практика применяемых технологий, естественно, не ограничивается перечисленными методами и направлениями. Проблема состоит в том, что действующий арсенал инструментальных технологий с разной эффективностью приемлем для самых верхних слоев мозга, практически до глубины в 1-2 мм. Регистрация света нейронных цепочек, находящихся в глубине мозга, является более сложной задачей.

Для изучения глубинных структур мозга активно используют методы вычислительной оптики. Суть метода состоит в возможности «смотреть» через непрозрачные предметы посредством фиксирования отраженных фотонов света. Предлагается применять также оптические технологии, используемые, например, для коррекции искажений звездного света в астрономии. Однако точность этих методов для фиксирования процессов на нейроразном уровне в глубинных структурах мозга не отличается высокой разрешающей способностью. Поэтому нейрорадиологами разработаны методы микроэндоскопии, которые позволяют посредством сверхминиатюрных эндоскопов проникать через стенки сосудов в любые заданные участки мозга и фиксировать электрическую активность клеток нейронов. Подобное устройство было создано в 2010 г. в Каролинском институте в Стокгольме. С его помощью без каких-либо повреждений для тканей удавалось проникать через стенки сосудов в любые участки мозга и осуществлять регистрацию электрической активности.

Наиболее активно ведутся исследования потенциального использования методов генетических технологий. С помощью генной инженерии создаются условия для синтеза нейронами своеобразной «молекулы-тикера», которая, видимо, будет изменять клетку при прохождении сигналов в нейроне для последующего фиксирования.

Технологии познания мозга всегда будут сопряжены со стремлением к глубокому пониманию работы нейронных цепочек. Ученые научились включать и выключать определенные группы нейронных цепочек с тем, что-

бы распознавать их причастность к конкретным функциям мыслительной деятельности.

Для управления нейронными цепочками широко используются методы оптогенетики, а также оптохимии. Эти методы постепенно приближают к разгадке возникновения и функционирования когнитивных функций человека и, что не менее важно, к регистрации отклонений от «нормы», пониманию причин заболеваний мозга, их ранней диагностике и лечению.

Краткий экскурс в состав инструментального базиса исследований показал, что на современном уровне развития технологий пока не создан универсальный метод, познание структур мозга осуществляется комплексом взаимосвязанных инструментальных технологий с параллельной разработкой принципов управления нейронными сетями.

Гигантский объем новых знаний о структуре мозга и его деятельности создает прекрасную возможность для упорядочения информации и ее использования для построения компьютерных аналогов мозга, создание которых позволило бы решить массу проблем, стоящих перед человечеством. Основные из них - диагностика заболеваний и коррекция работы нейронов, гуманное тестирование лекарственных средств, использование уникальных свойств мозга для создания поколений машин с искусственным интеллектом и т. д.

Использование компьютерных технологий (*insilico*)¹ для моделирования биологических процессов в настоящее время представляет одно из фундаментальных исследовательских направлений. В сфере биотехнологий, например с использованием ИКТ, была синтезирована искусственная клетка с заданными свойствами (Синтия), что открыло колоссальные возможности репродукции живой материи. Применительно к когнитивным технологиям в процессе использования ИКТ предстоит решить уникальную задачу по созданию компьютерной модели человеческого мозга, а также осуществить моделирование физиологических, электрохимических и других процессов, определяющих мозговую

¹ Выражение *in silico* было впервые введено в оборот в 1989 г. на семинаре «Cellular Automata: Theory and Applications» в Лос-Аламосе, Нью-Мексико. Педро Мирамонтес (Pedro Miramontes), математик из Национального автономного мексиканского университета, представил доклад «DNA and RNAP physicochemical Constraints, Cellular Automata and Molecular Evolution». В своем докладе Мирамонтес использовал выражение *in silico* для обозначения биологических экспериментов, полностью осуществленных на компьютере.

деятельность человека. В исследовательском арсенале имеются суперкомпьютеры, определенные знания о природе процессов, лежащих в основе мозговой деятельности, прогресс в математической формализации когнитивных процессов и опыт создания программного обеспечения. Достаточность этого потенциала для успешного решения предстоящих задач весьма условна. Очевидно, что его хватит для старта проекта и получения первых интригующих результатов, как и то, что он имеет достаточно предпосылок для своего усиления и внутренней эффективной коррекции.

Создание виртуальной модели человеческого мозга, основывающейся на математически точном описании и моделировании, важно не только для целей познания, но и для решения конкретных прикладных задач по научному экспериментированию. Виртуальный мозг откроет возможности для построения последующих моделей для тестирования и поиска методов лечения ряда тяжелых заболеваний, таких, как болезни Паркинсона, Альцгеймера, депрессии. Математическая и модельная формализация процессов, происходящих на уровне нейронных сетей, позволит осмысленно использовать эти принципы при разработке компьютеров и разнообразных устройств с искусственным интеллектом.

В Институте мозга и мышления Федеральной политехнической школы Лозанны был запущен проект (The Blue Brain Project), в рамках которого были начаты работы по созданию объединенной компьютерной модели головного мозга. Для этого были обобщены рабочие гипотезы о структурах мозга, систематизированы знания и выделены проблемные сферы, нуждающиеся в дополнительной научной проработке.

Для создания цифровой модели человеческого мозга (только его статической модели) предстоит смоделировать порядка 90 млрд нейронов и 100 трлн синапсов (соединений нейронов), что непосильно действующим суперкомпьютерам. Поэтому решение проблемы раскладывается на составные части. В 2005 г. в рамках трехлетнего проекта был осуществлен комплекс работ по моделированию одного нейрона. Затем перешли к моделированию более сложных структур мозга - нейронных колонок (*Ex vivo*), представляющих

срез коры головного мозга (неокортекса) в виде цилиндра с диаметром 0,5 мм и высотой 1,5 мм. Нейронные колонки проходят через шесть верхних слоев коры головного мозга и имеют специфическую форму организации нейронов внутри каждого слоя. С помощью компьютера Blue Gene, созданного IBM, удалось обобщить информацию о системе организации нейронов в каждом слое неокортекса, а также смоделировать виды соединений между виртуальными нейронами по аналогии с реальным взаимодействием нейронов. Программное обеспечение, на разработку которого ушло почти три года, позволило исследователям приблизиться к созданию первой виртуальной модели колонки неокортекса.

Создание виртуальной модели неокортекса - колоссальный по значимости шаг на пути познания мозговой деятельности, позволивший приоткрыть занавес в тайнах организации связей нейронов. Дальнейшие исследования были направлены на выявление степени соответствия виртуальной модели реальному поведению колонки. В 2008 г. в ходе эксперимента на виртуальную колонку было оказано воздействие электрическим импульсом. Первая реакция - нейроны пришли во взаимодействие, стали «переговариваться». Вот как описывает Г. Маркрам (Henry Markram), руководитель проекта The Blue Brain Project, дальнейший ход эксперимента: «Стали возникать спайки, или потенциалы действия (язык мозга), распространяющиеся по колонке, которая при этом начала вести себя как целостная сеть. Между слоями стали появляться пиковые потенциалы; они вели себя так же, как и в живых срезах мозга. Данное поведение мы заранее в нашу модель не закладывали; оно стало возникать самопроизвольно благодаря устройству самой нейронной сети, которая продолжала работать даже после того, как стимуляция извне прекратилась, и на короткое время сеть сама, так сказать, «разогналась», нашла какой-то свой способ представления информации» [3].

Полученные результаты, хотя они и относятся к построению статической модели части головного мозга, можно причислить к выдающимся. Они доказывают возможность моделирования головного мозга на условиях идентичности с поведением соответствующей

шей живой материи. Создание моделей нейрона и нейронной колонки содержат необходимые предпосылки для перехода к компьютерному моделированию более сложных систем отдельных функциональных частей мозга, а впоследствии, с развитием технологического базиса исследований, перейти и к созданию аналоговых моделей человеческого мозга в целом.

Спектр перспективных научных направлений компьютерного моделирования достаточно обширен. Уже сейчас ведутся разработки по структурно-динамическому моделированию. Предстоит создать динамическую модель развития человеческого мозга с охватом всех уровней его функционирования: от моделей взаимодействия молекулярных частей клетки с основными свойствами нейрона и составных частичек нейронов и ненейронных глиальных клеток до моделей процессов организации нейронных сетей, соединяющих различные нейроны и части головного мозга. К не столь отдаленной перспективе следует отнести и создание динамической составляющей компьютерного моделирования развития человеческого мозга и мозговой деятельности - от зарождения и достижения пика развития до угасания. Подобные модели позволят вплотную подойти к разгадке зарождения и развития интеллекта человека, его эмоций, способности познавать мир.

В настоящее время системой моделирования охвачено достаточно большое количество направлений, основные из которых:

- математическое описание биологических процессов головного мозга;
- создание виртуальной (компьютерной) модели мозга;
- моделирование нейронных сетей, соединяющих различные области мозга с клетками;
- моделирование отдельных нейронов и нейронных сетей;
- моделирование электрических и химических процессов в нейронах и нейронных сетях;
- моделирование молекулярных структур клетки головного мозга, обеспечивающих способность передачи электрических и химических сигналов в нейронах;
- моделирование процессов взаимодействия между генами, кодирующих белки для некоторых типов нейронов, и нейронами;

- моделирование аномалий развития мозговой деятельности и способов их устранения;
- моделирование познавательных свойств мозга.

5. Направления реализации когнитивных технологий. Стремительное развитие когнитивных наук и технологий в последние два-три десятилетия привело к формированию множества направлений исследований и разработок, реализуемых как в рамках высокобюджетных международных проектов, так и в рамках научных школ и национальных исследовательских центров и лабораторий. Сложившаяся структура исследовательского потенциала в целом обеспечивает разумное сочетание фундаментальных «затратоемких» исследований и прикладных научных разработок. Достаточно серьезная проблема - определение направлений реализации когнитивных технологий, разработка соответствующего классификатора. Ведь в сферу систематизации направлений реализации когнитивных технологий попадают результаты научных и междисциплинарных исследований и разработок; технологий и их модернизации; научных и технологических инноваций, как результатов взаимодействия науки и технологий; продукции, товаров и услуг и др.

Традиционно подобного рода проблемы решаются посредством создания классификаторов, их рабочих версий или локальных классификаторов. В природе таких классификаторов просто не существует, несмотря на наличие попыток количественного обобщения некоторых произвольных перечней направлений проведения исследований. Построение такого классификатора осложняется еще и тем, что нет какой-либо «зацепки» к действующим классификаторам. Когнитивные технологии не представлены в качестве самостоятельного класса в Международной патентной классификации, где в свою очередь представлены, например, нанотехнологии, а также биотехнологии.

В действующих нормативно-правовых документах используется термин «когнитивные технологии», но не раскрывается его содержание. Когнитивные технологии включены в Перечень критических технологий (Указ Президента РФ от 07.08.2011 № 899), однако от-

существуют государственные программы по их системному развитию. В то же время еще в 2002 г. в США принята программа «Конвергирующие технологии для улучшения человеческих способностей» (Converging Technologies for Improving Human Performances). Ее авторами стали М. Рокко и В. Вейнбридж. В Европе также разработана программа «Конвергирующие технологии для Европейского общества знаний», авторами которой являются А. Нордман и Д. Хомер. Принятие таких программ способствует системному форсированному развитию технологий в области улучшения способностей человека в познании и позиционированию приоритетных направлений развития когнитивных технологий.

В международной научной практике вопросам систематизации научных исследований и разработок в сфере когнитивных технологий уделяется достаточно большое внимание. При этом сами классификации являются производным от того, под каким ракурсом эти технологии рассматриваются. Так, в формате шестого технологического уклада когнитивные технологии имеют три базовые проекции: функционально-исследовательские; прикладные образовательные; инженерно-конструкторские.

При рассмотрении когнитивных технологий, исходя из их содержания (а также, как междисциплинарных технологий), выделяются пять технологий, которые, по мнению специалистов, призваны изменить мир. Это:

- нейровизуализация, ориентированная на достижение прозрачности мозга и установление того, какие его разделы за что отвечают;
- когнотропные препараты, то есть лекарства, улучшающие интеллект и память человека, сокращающие сон и помогающие сконцентрироваться в стадии бодрости;
- когнитивные ассоциации - системы адаптивной поддержки человека в меняющейся технической среде;
- мозго-машинные интерфейсы;
- искусственные органы чувств [9].

На наш взгляд, в данном случае мы имеем дело с очень интересным и оригинальным подбором базовых направлений развития когнитивных технологий в целом, которые отражают как направления реализации исследовательского потенциала, так и его прикладную результативность.

Совершенно другие группировки направлений можно увидеть, например, в том случае, если когнитивные технологии рассматривать как некую композицию интеллектуальных технологий. В этой связи представляет научный интерес классификация интеллектуальных технологий, предложенная американским ученым Дэвидом Шетсри [8]. Им выделены девять групп:

1. Компьютерное зрение - Computervision.
2. Обучающие машины - Machinelearning.
3. Воспроизводство естественной речи - Natural language processing.
4. Специальные средства распознавания - Special recognition.
5. Оптимизация - Optimization.
6. Управляемые базовые системы - Rules based systems.
7. Роботизированные устройства - Robotics.
8. Планирование и опись /инвентаризация - Planning and scheduling.
9. Средства управления и анализа данных - Date management and analysis tools.

Существуют и другие комбинации направлений развития когнитивных технологий. Общее для всех этих группировок состоит в их субъективном конструировании, акцентировании на наиболее значимых технологиях, представление в виде некоего простого перечня направлений без намека на системообразующий принцип подбора. Важно, что любая из предложенных группировок когнитивных технологий - это шаг вперед на пути познания когнитивных технологий, а их авторы достойны уважения и благодарности.

Однако очевидно и другое: такие подходы состоятельны на ранних этапах научного обобщения определенных результатов исследований. В дальнейшем такие подходы становятся уязвимыми для критики, дескать, почему включено это направление, а отсутствует не менее значимое - другое. Например, в случае с последней группировкой напрашиваются диагностика, образование и иные направления, вытекающие из когнитивных функций мозговой деятельности. За этими нововведениями последуют и другие. Перечень теряет компактность и утратит должное научное восприятие.

В развитие действующих систем группировок и классификаций попробуем осуществить комбинирование направлений исследований

и разработок в сфере когнитивных технологий, для чего выделим три основные группы, как нам представляется, в своей совокупности обеспечивающие комплексный учет действующих и потенциально разрабатываемых направлений развития когнитивной науки и технологий (см. рис. 2).

Первую группу представляют стратегические направления развития когнитивных наук и технологий. В ее состав входят базовые когнитивные технологии в сфере познания - технологии и научные дисциплины, ориентированные на познание механизмов мозговой деятельности, комплекс методов нейровизуализации, компьютерного моделирования, а также философского обобщения аналитической практики познавательной деятельности. В составе этой группы находятся также и исследования и разработки в сфере искусственного интеллекта.

А. Системные стратегические направления развития когнитивных наук и технологий

1. Изучение процесса познания и когнитивных функций мозга.
2. Нейровизуализация.
3. Компьютерное моделирование.
4. Создание искусственного интеллекта.
5. Философское обобщение аналитической практики развития когнитивных технологий.

Две другие группы направлений развития когнитивных технологий не утрачивают своей фундаментальности и значимости для прогресса знаний и технологий и развиваются в системе взаимоотношения познания мозга и использования этих знаний для удовлетворения общественного спроса и реальных потребностей.

Вторая группа представлена направлением развития когнитивных технологий, базирующихся на использовании результатов познания процессов мозговой деятельности для создания новых интеллектуальных технологий, машин, приспособлений, программ для улучшения инструментального базиса экономики и качества работников.

Б. «Интерфейс» мозг человека - общество

1. ВСИ-технологии (Brain-Computer-Interfaces) - интерфейс мозг человека - компьютер.

2. ВСИ-технологии в роботостроении.
3. ВМИ-технологии (интерфейс мозг - машина или иное внешнее устройство, выпол-

няющее умственные или моторные функции человека), разработка экзоскелетов.

4. ВСИ-технологии в управлении знаниями в сфере биологии, математики, компьютерного моделирования, технических наук.

5. Создание биокомпьютеров и нейрочипов.

6. Фундаментальные когнитивные процессы и их использование в образовании и управлении экономикой. Когнитивная статистика.

Третья группа направлений ориентирована на разработку технологий, нацеленных на улучшение мозговой деятельности человека, устранение функциональных недугов, стимулирование интеллектуальных способностей и адаптационную поддержку познавательных способностей человека.

В. «Интерфейс» общество - мозг человека

1. Лечение больных с заболеваниями мозга. Болезни Альцгеймера, Паркинсона.

2. Нейролингвистика.

3. Разработка когнотропных препаратов для улучшения интеллектуальных способностей человека - лекарственные усилители когнитивных способностей человека; активизация нейросистем; повышение эффективности потенциала интеллектуальной деятельности.

4. Нейропротезирование, протезирование памяти; искусственные органы чувств.

5. Системы адаптивной поддержки человека.

Предложенная система классификаций когнитивных технологий, конечно же, не может претендовать на некий стандарт статистического классификатора, более того, она ему абсолютно не соответствует. В данном случае речь идет о некоем изящном аналитическом обобщении трендов развития когнитивных технологий, упорядочения знаний, познания возможностей использования достижений науки во благо самого познающего таинства мозговой деятельности - человека! Коснувшись предметной стороны когнитивных технологий, мы поразились неумной фантазии, творческому воображению и смелости научных замыслов и консолидации ученых разных научных специальностей во имя достижения великой идеи. На этом фоне мы лишь смогли приблизить понимание технологий будущего к статистическим стандартам познания. В реалиях дня завтрашнего - созда-

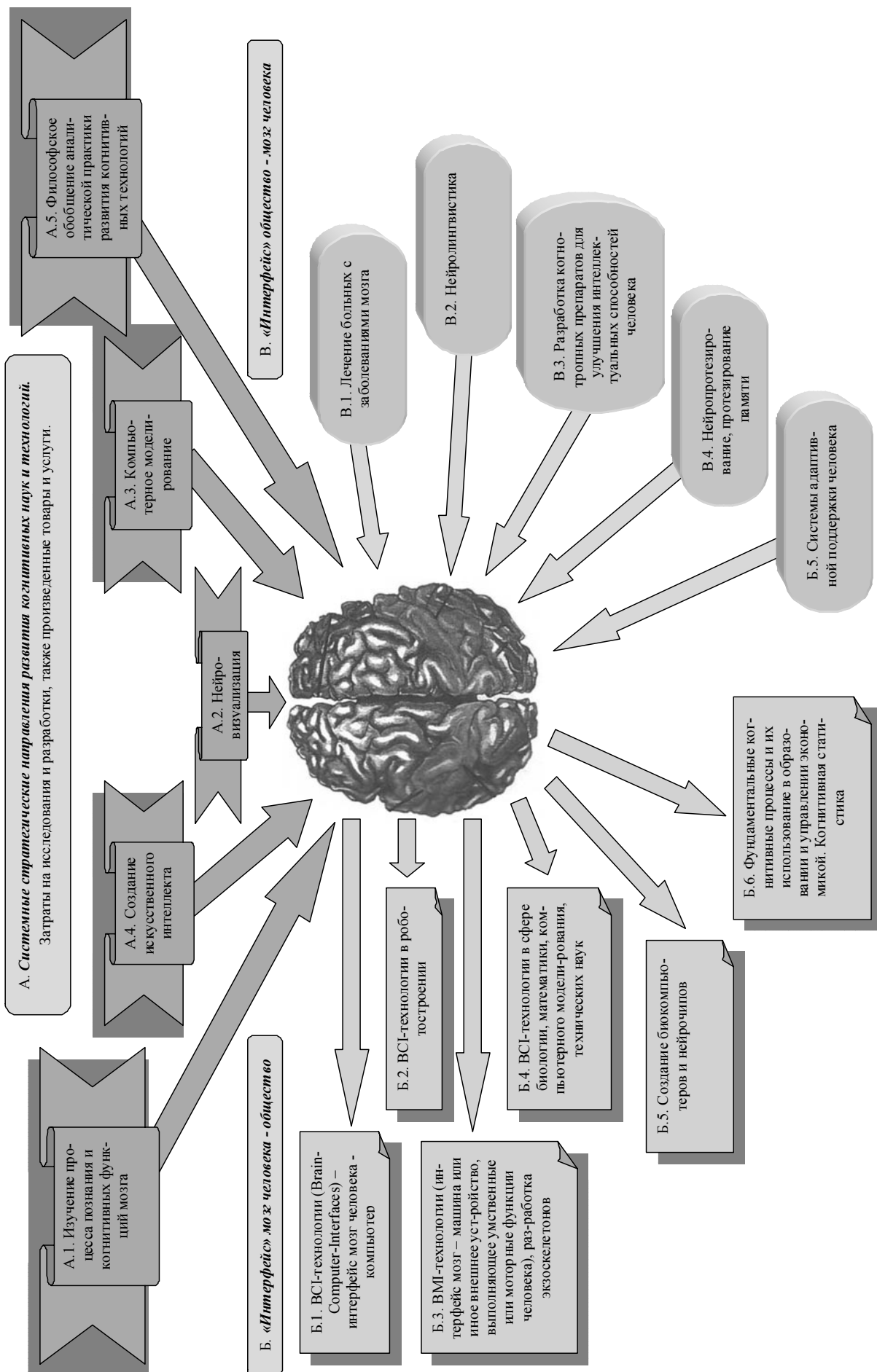


Рис. 2. Результативность реализации когнитивных технологий

ние основ когнитивной статистики, после-завтрашнего - поиск тренда развития статистики в системе координат конвергированных NBIC-технологий, в которых ведущую роль будут играть когнитивные технологии.

Литература

1. Казанцев А.К. NBIC-технологии. Инновационная цивилизация XXI века. - М.: Инфра-М, 2014.
2. Касавин И.Т. Философия познания и идея междисциплинарности // Эпистемология и философия науки. 2004. № 2.
3. Маркхам Г. Проект цифрового мозга // В мире науки. 2012. № 8.
4. Саймон Г. Структура сложности в развивающемся мире. Компьютеры, мозг, познание: успехи когнитивных наук. - М.: Наука, 2008.

5. Черч Дж., Юсте Р. Новая эра в исследовании мозга // В мире науки. 2014. № 5.
6. A Push to Map All the Brain's Neurons. *Scientific American Mind*; May/June 2013.
7. Anderson J.A. The Architecture of Cognition. Cambr, 1983.
8. Gardner H. The Minds New Science: A History of Cognitive Revolution. N. Y., 1985.
9. I-future. live journal. com/449110/htmt.
8. Schatsry D. Demystifying Artificial Intelligence. Delaitte University Press.
10. The Brain Activity Map Project and the Challenge of Functional Connectom-ics. URL: <http://download.cell.com/neuron/pdf/PIIS0896627312005181.pdf?intermediate=true>.
11. Insel T.R. et al. The NIH Brain Initiative // Science. 10 May 2013. Vol. 340. P. 687-688. URL: http://scienceinthe classroom.org/sites/default/files/related/the_nih_brain_initiative.pdf.

METHODOLOGICAL PROBLEMS IN DEVELOPING STATISTICS OF COGNITIVE TECHNOLOGIES

Oleg P. Rybak

Author affiliation: Statistics Institute of Rosstat (Moscow, Russia). E-mail: niistat@hotmail.ru.

Development of cognitive technologies can be identified as crucial direction for advancing science and technology. In its prominence and importance it matches nanotechnology, biotechnology, and information and communication technologies. The author follows up conceptual provisions that were first presented by him in the article «Methodological approaches to organizing statistical observation of cognitive technologies» (Issue no. 3 for 2016, Journal «Voprosy statistiki»).

This paper focuses on outlining methodological platform for organizing statistical monitoring of cognitive technologies. It attempts to work out the logic behind categorizing approaches used to reorganize a multitude of development decisions and performance indicators of science, technology, production (manufacturing) of products, goods and services. In order to formulate primary methodological pre-requisites for establishing statistical monitoring, the author gives common and list-based definitions of cognitive technology along the lines of OECD approaches to nanotechnology and biotechnology. Basic parametric level of cognitive technology is set. In the course of discussing selection criteria for interdisciplinary pool of cognitive sciences, the author introduces the definition and recommends using the construct of cognitive engineering.

The article analyzes examples of various instrumental methods of examination from dozens of different fields of science and technology (from traditional microscopy to optochemistry and computer modeling) and considers the challenges of organizing the monitoring of technological basis for cognitive technologies. To compactly systematize all the variety of applied technologies the author used three-dimensional organization.

In order to elaborate rather small international experience in setting up classifications the article presents an unconventional local classification principle providing for grouping the results in the form of strategic fundamental development directions for cognitive technology, manufacturing and circulation of products, goods and services, in the interface formats: brain - society - human brain (BCI, BMI, etc.).

Keywords: innovation statistics, cognitive technologies, common and list-based definitions of cognitive technologies, basic parametric level, cognitive engineering, interdisciplinary criteria for sciences, technological basis, classification principle for three-dimensional organization of applied technologies, strategic fundamental research; products, goods and services of applied research, converged big technologies.

JEL: C81, C82, D80, 031, 032, 033.

References

1. Kazantsev A.K. NBIC-tekhnologii. Innovatsionnaya tsivilizatsiya XXI veka [NBIC-technologies: innovative civilization of the XXIst century]. Moscow, Publishing house «Infra-M», 2014. (In Russ.).
2. Kasavin I.T. Filosofiya poznaniya i ideya mezhdistsiplinarnosti [Philosophy of knowledge and idea of interdisciplinarity]. *Epistemology and Philosophy of Science*, 2004, no. 2. (In Russ.).
3. Markham G. Proekt tsifrovogo mozga [Human Brain Project]. *Monthly Scientific Information Journal «World of Science»* (Scientific American), 2012, no. 8. (In Russ.).
4. Simon H. [The structure of complexity in an evolving world]. *Komp'yutery, mozg, poznaniye: uspekhi kognitivnykh nauk* [Computers, Brain, Cognition: Advances in Cognitive Science]. Moscow, Nauka Publ., 2008. (In Russ.).
5. Church G., Yuste R. Novaya era v issledovanii mozga. [New century of the brain]. *Monthly Scientific Information Journal «World of Science»* (Scientific American), 2014, no. 5. (In Russ.).
6. A Push to Map All the Brain's Neurons. *Scientific American Mind*; May/June 2013.
7. Anderson J.A. The Architecture of Cognition. Cambr, 1983.
8. Gardner H. The Minds New Science: A History of Cognitive Revolution. N. Y., 1985.
9. I-future. live journal. com/449110/htmt.
8. Schatsry D. Demystifying Artificial Intelligence. Delaitte University Press.
10. The Brain Activity Map Project and the Challenge of Functional Connectomics. Available at: <http://download.cell.com/neuron/pdf/PIIS0896627312005181.pdf?intermediate=true>.
11. Insel T.R. et al. The NIH Brain Initiative. *Science*. 10 May 2013. Vol. 340. P. 687-688. Available at: http://scienceinthe classroom.org/sites/default/files/related/the_nih_brain_initiative.pdf.