

КОГНИТИВНЫЕ НАУКИ

УДК 159.947.5

*Б.М. Величковский, А.В. Вартанов, С.А. Шевчик*СИСТЕМНАЯ РОЛЬ КОГНИТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В РАЗВИТИИ КОНВЕРГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Часть упомянутых в данной статье исследований поддержана грантами РГНФ (№ 09-06-01035а) и РФФИ (№ 09-06-00293а, № 09-06-12003офи-м, № 09-06-12007офи-м, № 09-04-12206-офи_м), а также Комиссии Евросоюза (PERCEPT и COGAIN) и BMBF (ZOOM)

Рассматриваются современные тенденции развития науки и общества, анализируется феномен конвергенции технологий, обосновывается системная роль когнитивных исследований.

Ключевые слова: когнитивные технологии; NBIC-конвергенция.

В последние 10–15 лет в мире произошли радикальные изменения: наряду с нано-, био- и информационными технологиями в качестве равнозначного выделился комплекс нейрокогнитивных исследований, связанных с изучением механизмов когнитивных процессов. Прилагательное «когнитивный» происходит от лат. *cognisere* – знать, узнавать, понимать. В отличие от времен Декарта, который ввел это прилагательное в научный оборот (*cogito ergo sum; res extensa vs. res cogitans*), «когнитивными» в настоящее время называют не только познавательные процессы осознанного понимания, мышления и речевого общения, но и такие базовые биологические процессы, как ориентация в пространстве, предвосхищение событий и поведенческое реагирование на них, мобилизация ресурсов, необходимых для преодоления затруднений, и т.д. Во всех этих случаях существенным является *внутреннее представление* («образ», «ментальная модель», «репрезентация») ситуации и преобразование этого представления в целях решения задачи.

Развитие современных когнитивных исследований было подготовлено двумя научно-техническими революциями – середины и последней трети XX в.:

1) появление компьютеров дало средства машинного моделирования, проведения экспериментов, обработки и представления данных;

2) развитие физики (физика низких температур и нелинейная оптика) позволило создать неинвазивные средства трехмерной визуализации мозговых процессов и состояний.

В результате к началу XXI в. радикально изменился облик таких дисциплин «человеческого фактора», как психология, лингвистика, физиология, философия, экономика, эргономика и антропология. Наряду с появлением междисциплинарной *когнитивной науки* (*cognitive science*), возник целый ряд новых технологических приложений.

Если рассмотреть несколько десятков тысяч публикаций ведущих научных журналов с точки зрения плотности перекрестных ссылок, то возникает двумерный ландшафт научного знания, показанный на рис. 1. В этом ландшафте отчетливо выступают четыре междисциплинарных кластера: Нано, Био, Инфо и Когно. Прогнозируя развитие высокотехнологического секто-

ра, Национальный научный фонд и Министерство торговли США назвали их **конвергентными технологиями** (см. «NBIC отчет»: [1–3]). Конвергенция технологий находит свое выражение в усиливающейся взаимозависимости этих четырех направлений между собой и их совместном влиянии на общество. В процессе конвергенции технологий когнитивные исследования выполняют системную роль проверки соответствия разрабатываемых продуктов и услуг психофизиологическим и эргономическим характеристикам человека.

Хотя когнитивные технологии и стали развиваться с определенной задержкой по отношению к инфо-, био- и нанотехнологиям, объем обеспечиваемого ими рынка инновационных продуктов и услуг уже измеряется в миллиардах долларов. Когнитивные технологии возникли первоначально в рамках информатики и вычислительными интерфейсами между человеком и вычислительными системами. Примерами служат графические интерфейсы, созданные такими фирмами, как *Apple* и *Microsoft*. Их основой стали исследования, показавшие практическую неограниченность зрительной памяти человека [4]. На знании законов восприятия основаны технологии виртуальной реальности, широко применяющиеся в тренажерах [5].

Специфический вклад когнитивных технологий должен обеспечить увеличение продуктивности и безопасности человеческого труда, ведущие, в конечном счете, к улучшению качества жизни: «Основой конвергенции технологий является материальное единство мира на наноуровне и его интеграция на более высоких уровнях. Развитие когнитивных технологий будет иметь наиболее заметные последствия для общества в целом...» [1].

Следует подчеркнуть, что когнитивные исследования междисциплинарны (1) по своему происхождению, (2) по методам и (3) по перспективам практического использования. В процессе конвергенции технологий когнитивные исследования выполняют системную роль проверки соответствия разрабатываемых продуктов и услуг психофизиологическим и эргономическим характеристикам человека. Центральной задачей при этом является создание когнитивных технологий – высокотехнологичных инструментов, материалов и процедур, улучшающих оценку актуальной ситуации человеком и результативность его деятельности.

Современные подходы открывают дополнительные возможности адаптивного взаимодействия. Так, например, обработка изображения лица позволяет практически в режиме реального времени фиксировать движения глаз человека, отражающих **уровень и направленность внимания**, одновременно определяя его эмоциональное состояние. Это может быть важно, например, для контроля состояния водителя и повышения безопасности человеко-

машинных систем [6, 7]. Вместе с созданным в рамках магнитоядерных и нейрофизиологических исследований **функциональным картированием мозга** такие методы найдут применение в медицинской диагностике, а также при создании средств взаимодействия людей на расстоянии. Результатом является увеличение эффективности использования телеконференций в промышленности и госуправлении [8, 9].

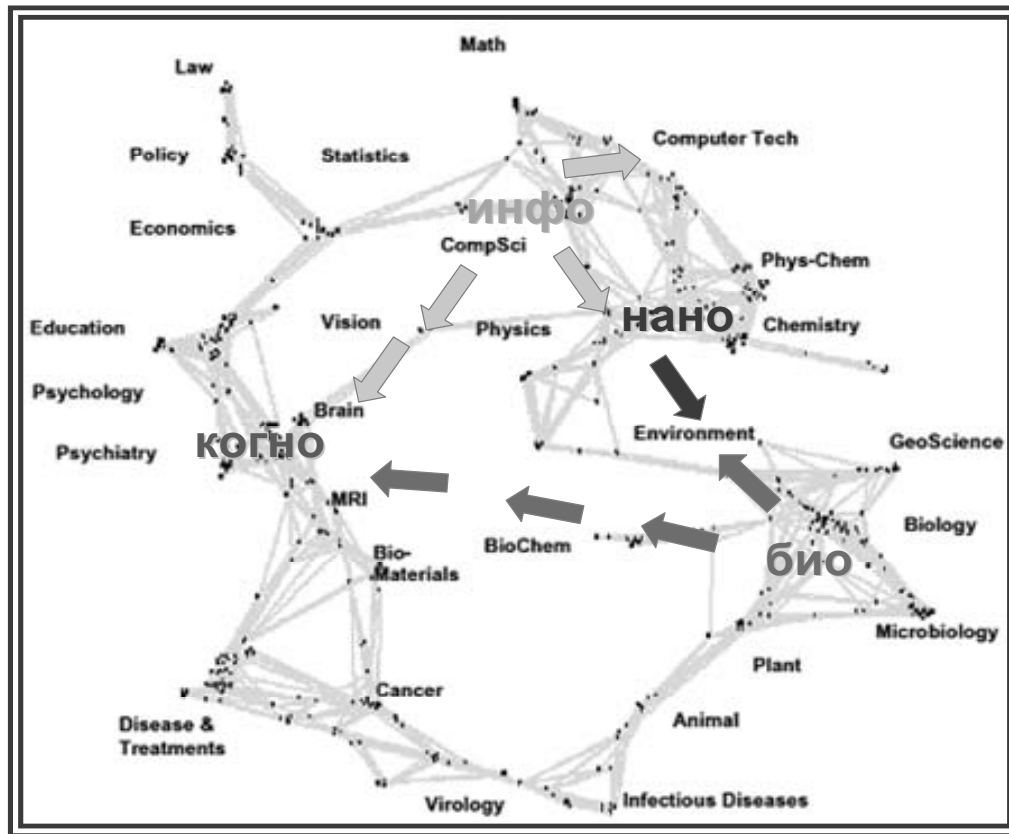


Рис. 1. Ландшафт современного научного знания с четырьмя «мегатехнологиями»

Еще одной сферой применения когнитивных интерфейсов является оказание помощи людям, лишенным возможности двигаться и говорить (locked-in syndrome), когда, изменяя одно лишь направление взора, человек может вызывать на экран нужную информацию и осуществлять с ней необходимые операции [10]. Интересным направлением создания новых интерфейсов для промышленных, военных и медицинских применений представляется использование **наноматериалов**, таких как би-дирекционные стекла, позволяющих пространственно совмещать виртуальную информацию с реальным окружением, одновременно регистрируя простейшие намерения пользователя [11]. По-видимому, именно эти материалы могут стать идеальным средством создания мобильных систем расширенной реальности (augmented and mixed reality). На рис. 2 показан пример применения соответствующего интерфейса во время эндоскопической (минимально инвазивной) операции.

В среднесрочной перспективе Россия вполне может быть одним из мировых лидеров в этой области. Координация когнитивных исследований в нашей стране

стала возможной благодаря созданию Института когнитивных исследований, Межрегиональной ассоциации когнитивных исследований и регулярному проведению Международных конференций по когнитивной науке с участием ряда лауреатов Нобелевской премии [12]. В практическом плане наиболее актуально внедрение когнитивных технологий для предотвращения ошибок человека при интерпретации данных и взаимодействии с техническими устройствами, с целью обеспечения безопасности в медицине и на транспорте. Одновременно, используя постоянно расширяющиеся вычислительные и методические ресурсы, необходимо продолжить решение фундаментальных проблем механизмов сознания, интеллекта и стрессоустойчивости человека [13–15]. Особенно перспективна разработка мультимодальных методик функциональной диагностики деятельности мозга (как, например, объединение фМРТ с ПЭТ, ЭЭГ и с регистрацией движений глаз), а также использование их в сочетании с методами когнитивной геномики и генетики. На этой основе можно ожидать новых технологических прорывов, в частности в области **нейрокогнитивных** разработок и создания **когнотропных** препаратов.

К числу примеров первого поколения когнитивных технологий, возникающего на стыке с инфо-, био- и нанотехнологии, относятся:

- 1) интерфейсы на базе новых наноматериалов (Нано-Инфо-Когно);
- 2) интерфейсы, чувствительные к вниманию пользователя (Инфо-Когно);
- 3) методы экспликации сознания и диагностики эмоций (Био-Инфо-Когно);
- 4) методы распознавание жестов (Инфо-Когно);
- 5) антропоморфные агенты /аватары (Инфо-Когно);
- 6) методы когнитивной геномики и когнотропные субстанции (Био-Нано-Когно);
- 7) нейромаркетинг и нейроэргономика (Био-Когно);
- 8) методы молекулярного «ремонта» памяти человека (Био-Нано-Когно).

Реализуя положение о конвергенции нано-, био-, информационных и когнитивных технологий, в настоящее время в Институте когнитивных исследований РНЦ «Курчатовский институт» совместно с рядом других лабораторий НБИК-центра инициировано несколько взаимосвязанных направлений исследований. Прежде всего, речь идет о разработке методов функциональной оценки деятельности мозга человека на основе мультимодальной регистрации магниторезонансных, электромагнитных и окуломоторных индикаторов. Главная задача – преодоление существующих ограничений нейрофизиологических методов исследования мозга человека, обеспечивающих либо высокое пространственное (fMRI на базе BOLD-сигнала), либо высокое временное (EEG/MEG) разрешение измеряемых данных, но не то и другое одновременно.



Рис. 2. Применение чувствительных к вниманию интерфейсов на базе новых микрофотонных материалов при эндоскопических операциях

Будет предложено и проанализировано несколько возможных решений этой проблемы, в частности комбинация нейровизуализации с регистрацией фиксации и саккадических движений глаз, определяющих естественный режим переработки зрительной информации мозгом человека (во время саккадических движений такая переработка блокируется, так называемая saccadic suppression). Предполагается апробировать также альтернативные методы, в частности новый метод, получивший предварительное название qSEMT (quasi-stationary electromagnetic tomography). Планируется использование и развитие методов магнитноиндукционной и электроимпедансной томографии для бесконтактного выявления в реальном времени трехмерного распределения проводимости мозговых тканей. Основным преимуществом данного метода диагностики (как и всех импедансных) являются абсолютная безвредность обследования, высокая информативность, связанная со значительной корреляцией проводимости биологических тканей с их физиологическим состоянием, компактность и невысокая стоимость

аппаратуры, простота процедуры обследования. В итоге предполагается обеспечение временного разрешения в миллисекундном диапазоне при сохранении высокой пространственной точности и создание предпосылок для последующего совмещения функционального и молекулярного имаджинга мозга.

Планируется разработка технологии визуализации внимания и перцептивного сознания для объективного контроля оснований экспертных диагностических оценок в ядерной медицине. Главная задача этого направления – введение объективизации диагностических оценок сложной образной информации в ядерной медицине, а равно в других отраслях науки и техники, использующих экспертную оценку зрительных образов. Субъективность этих оценок объясняет сегодня до 40% диагностических ошибок в медицине. Будет предложено решение этой казавшейся неразрешимой проблемы, основанное на регистрации движений глаз экспертов и построении «ландшафтов внимания», которые будут использоваться в качестве фильтра для обработ-

ки зрительных образов и объективной реконструкции перцептивного сознания, служащего основанием для тех или иных экспертных диагностических оценок. В результате будет обеспечена объективность диагностических оценок экспертов, возможность сохранения оснований таких оценок в электронном виде, а также их профессионального обсуждения и использования для быстрой передачи невербального экспертного знания в процессах профессионального обучения.

Планируется создание когнитивных технических систем, позволяющих в режиме реального времени вести непрерывный мониторинг направленности и характера зрительного внимания человека. Для этого предполагается создание стенда с виртуальным отображением динамических ситуаций для выявления признаков флуктуаций внимания человека-оператора, критических для безопасности его деятельности. Основной задачей при этом является создание когнитивных технических систем, позволяющих в режиме реального времени вести непрерывный мониторинг направленности и характера зрительного внимания человека.

Наиболее очевидной областью применения таких систем является повышение безопасности дорожного движения (только за последние 12 лет на дорогах РФ погибло свыше полумиллиона граждан). Поэтому исследования будут проводиться на специальном тренажере, создающем виртуальное отображение дорожно-транспортных ситуаций. Однако полученные результаты будут полностью применимы и к другим сценариям, в частности релевантным задачам и проблемам ядерной энергетики. Будет предложено несколько возможных решений проблемы мониторинга внимания, в частности связанных с регистрацией саккадических движений глаз и классификацией зрительных фиксаций. В итоге будет разработан метод обеспечения постоянного неинвазивного контроля за состоянием человека-оператора в динамическом, потенциально опасном окружении.

Планируется разработка методов когнитивной эргономики для создания интерфейсов оператора-пользователя (особенно в nanoиндустрии). Главной задачей является создание современных средств представления ситуации в nanoиндустрии. Традиционные эргономические решения, связанные с оптическим увеличением рабочей области, в данном случае неприемлемы. Помимо разработки необходимой аппаратной базы будут проанализированы ментальные модели операторов-нанотехнологов и созданы соответствующие им информационные модели типичных ситуаций работы. Будут проводиться исследования по созданию новых типов интерфейсов на базе новых наноматериалов (в частности, планируется исследовать эргонометрические перспективы включения в интерфейс тактильного дисплея на базе так называемых «реактивных полимеров», а также изучить возможность применения органических наноматериалов как основы устройств расширенной реальности). Будут разрабатываться интерфейсы, чувствительные к вниманию пользователя и его эмоциям. Начнут разрабатываться методы распознавания жестов и речи человека, создания антропоморфных виртуальных агентов («аватаров»).

Планируются исследования в области когнитивной геномики, создания когнотропных субстанций, разра-

ботка методов молекулярного «ремонта» памяти человека, создания технических средств для локализации введения лекарственных веществ в головной мозг человека и животных. В последние годы проведены обширные исследования, выявившие связь эпизодической памяти у человека с рядом генетических и нейрофизиологических механизмов, в частности с интенсивностью нейрогенеза в структурах гиппокампа. Планируемое комплексное междисциплинарное исследование направлено на создание неинвазивных методов измерения процессов нейрогенеза (на основе МР-спектроскопии) и включает разработку математических и программных методов, эксперименты на животных и человеке с целью получения специфицированных в отношении интенсивности и локализации процессов нейрогенеза данных, коррелирующих изменению сигнала магниторезонансной томографии и спектроскопии.

Особое внимание при проведении этих исследований будет направлено на проверку эффективности ряда способов активации нейрогенеза и компенсации снижения когнитивных функций в процессе развития и нормального (не отягченного тяжелыми заболеваниями) старения. Выявляется эффективность таких воздействий, как специальная тренировка памяти и когнитивного контроля, а также применение клеточных и субклеточных (молекулярных) технологий, в частности введение концентрата стволовых клеток пуповинной крови.

Индивидуальные различия длительное время оставались на периферии интересов экспериментальной психологии, а затем и междисциплинарной когнитивной науки, стремившихся дать самое общее описание организации познавательных процессов у животных и человека. С усилением процесса «конвергенции технологий» и, в особенности, в связи с успешным секвенированием человеческого генома появилась возможность объяснить часть индивидуальной вариативности когнитивных функций человека влиянием генетических факторов. Наибольшее число таких исследований в настоящее время посвящено полиморфизмам генов COMT и APOE. Кодирова производство фермента катехол-О-метилтрансферазы, первый из этих генов участвует в регуляции метаболизма нейромедиатора дофамина и в одном из его аллелей является фактором риска нарушения внимания, эпизодической памяти и скорости решения задач, а также, в предельном случае, возникновения шизофрении. Второй ген участвует в липидном обмене и устойчиво ассоциируется с болезнью Альцгеймера.

В связи с этими новыми данными предполагается исследовать особенности познавательной сферы у людей с генетической предрасположенностью к развитию болезни Альцгеймера. Планируется применение крупномасштабного секвенирования экзонов как фундаментального подхода к поиску генетических причин полигенных заболеваний человека. С помощью специально разработанных психологических тестов будут исследоваться особенности памяти и когнитивного контроля у носителей аллеля $\epsilon 4$ гена апополипротеина E.

Белок апополипротеин E участвует в метаболизме липидов, необходимых для сохранения и восстановления клеточных структур. У человека этот белок полиморфен. Три его изоформы – E2, E3 и E4 – отличаются аминокис-

лотами в позициях 112 и 158 (рис. 3). Функционально изоформы отличаются по сродству к липидам E3 эффективно связывается с липидами высокой плотности, а E4 – с липидами очень низкой плотности. В соответствующих кодонах гена APOE, расположенного на хромосоме 19, имеются однонуклеотидные замены (так называемые SNPs, single nucleotid polymorphisms). Наиболее распространенным во всех изученных популяциях мира является аллель ε3 (от 47% до более чем 90%). Частота аллеля ε4

составляет 3–40%, а ε2 – до 15–20%. В многочисленных исследованиях показано, что у носителей аллеля ε4 уровень холестерина выше, чем у носителей других аллелей. Наряду со старческой деменцией Альцгеймеровского типа, о чем мы уже упоминали, неоднократно была выявлена связь этого аллеля с сердечно-сосудистыми заболеваниями и, как правило, более тяжелыми последствиями травм головного мозга, влияющими в том числе и на когнитивные характеристики.

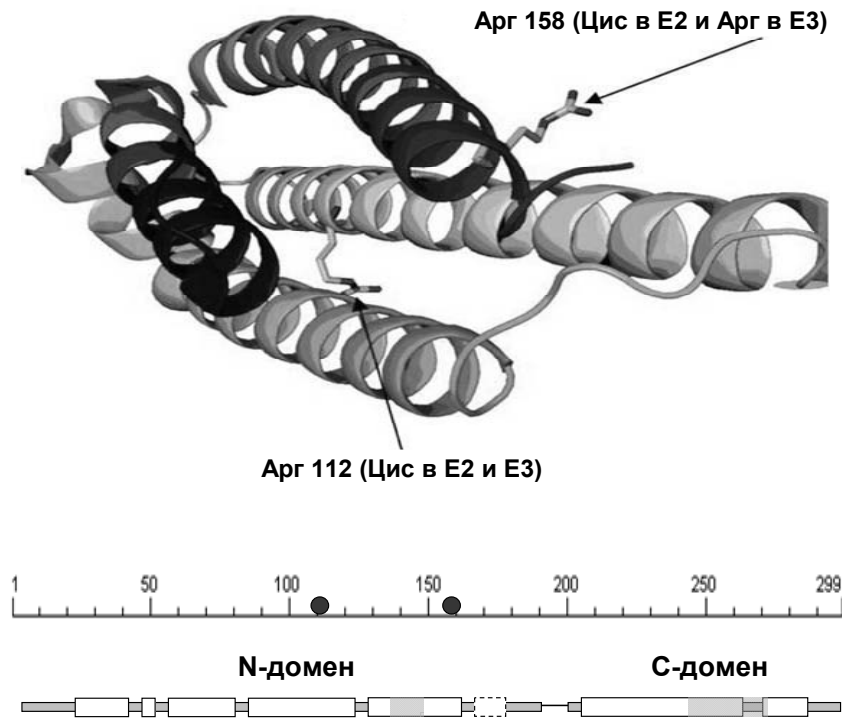


Рис. 3. Вверху: трехмерная реконструкция белка APOE-E4; стрелками отмечены позиции замены аминокислот в двух других высокочастотных изоформах, E2 и E3. Внизу: линейная развертка белка APOE с указанием позиций вероятной замены аминокислот и положения двух доменов, обеспечивающих распознавание рецептора (N-домен) и связывание липидов (C-домен)

Проведенный нами в последнее время анализ свидетельствует о сложном и достаточно противоречивом влиянии аллеля ε4 гена APOE на когнитивные процессы и их мозговые механизмы [13]. Как показатели памяти, так и параметры метаболической активности мозга демонстрируют, согласно результатам отдельных работ, разнонаправленные изменения, свидетельствуя в ряде случаев о высокой эффективности когнитивного функционирования у носителей этого аллеля. Можно, впрочем, считать установленным, что специфический «пул когнитивных ресурсов», ассоциированный с вариантами этого генотипа, особенно в его монозиготной – ε4/ε4 – форме, рассчитан на высокий уровень функционирования лишь в течение относительно ограниченного времени. После 50 лет увеличение числа и серьезности накапливающихся на разных уровнях организации мозга нейрофизиологических дефектов, как правило, уже не может быть полностью компенсировано дополнительной мобилизацией ресурсов, что в значительном числе случаев ведет к характерной картине когнитивного снижения и последующего распада.

В рамках программы исследований института планируется также разработка методов применения фоку-

сированных ультразвуковых воздействий для локализации введения лекарственных веществ в головной мозг. Для лечения ряда психических и неврологических заболеваний, а также для фундаментальных исследований высшей нервной деятельности необходимо узлокализированное введение психотропных, противоэпилептических, противосудорожных, противопаркинсонических, наркотических, снотворных средств в определенные отделы головного мозга. Для решения этой задачи предлагается активировать локальный кровоток и обменные процессы в соответствующем отделе головного мозга с одновременным введением лекарственного вещества в кровь человека. Будут исследоваться также и собственные эффекты влияния локализованного ультразвука на высшую нервную деятельность. Локальная ультразвуковая стимуляция головного мозга представляет интерес в связи с фундаментальными исследованиями нейрокогнитивных процессов (как возможная «мягкая» альтернатива распространенным методам электрического и магнитного воздействия), а также, как отмечалось, в связи с возможным использованием основанных на ней методик для строго локализованного лечения заболеваний мозга человека.

В целом, усилия, предпринимаемые в нашей стране для создания современной инфраструктуры исследований в области нанотехнологий, высокопроизводительных вычислительных устройств («суперкомпьютеров») и биотехнологий, позволяют надеяться, что и работы в области когнитивной науки, а также ее многочисленных практических приложений получат соответствующее ускорение. Многие направления когнитивных исследований первоначально возникли в нашей стране. Затем центр развития сместился и инициатива была, хочется верить – лишь вре-

менно, утеряна. Когнитивные технологии являются последним и на сегодняшний день, несомненно, наименее зрелым примером конвергентных технологий. Однако одновременно именно они имеют самое непосредственное отношение к психологии человека, его восприятию и оценке тех или иных технологических нововведений. Поэтому появление когнитивных технологий венчает процесс конвергенции НБИК-технологий, задавая ему общепонятный смысл и единственно приемлемую гуманистическую перспективу.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Converging Technologies for Improving Human Performance* Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. NSF/DOC-sponsored report / Ed. by Mihail C. Roco and William Sims Bainbridge. National Science Foundation, Arlington, VA, 2002.
2. *Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations: Converging Technologies in Society* / Ed. by William Sims Bainbridge and Mihail C. Roco. National Science Foundation, National Science and Technology Council's, Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering, and Technology. N.Y.: Springer, 2005.
3. *Canton J.* NBIC convergent technologies and the innovation economy: Challenges and opportunities for the 21st Century // *Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations: Converging Technologies in Society*. N.Y.: Springer, 2006.
4. *Величковский Б.М., Шмидт К.-Д.* Долговременная перцептивная память // *Вестник МГУ*. Сер. 14. 1977. № 1. С. 17–26.
5. *Величковский Б.М.* Технологии, внимательные к вниманию человека // *В мире науки*. 2003. № 12. С. 87–93.
6. *Velichkovsky B.M., Rothert A., Miniotas D., Dornhoefer S.M., Joos M., Pannasch S.* Visual fixations as a rapid indicator of hazard perception // *Operator functional state: The assessment and prediction of human performance in complex tasks (NATO Science Series)*. IOS Press: Washington, DC. 2003.
7. *Величковский Б.М.* Когнитивная наука: Основы психологии познания: В 2 т. М.: Академия, 2006.
8. *Velichkovsky B.M., Vaccino T., Cornelissen F.W., Geusebroek J.-M. et al.* Walter H. PERCEPT: Perceptual Consciousness – Explication and Testing. EU Commission. Brussels, 2006. URL: www.nest-percept.eu
9. *Kohler P., Pannasch S., Velichkovsky B.M.* Enhancing mutual awareness, productivity and feeling: Cognitive science approach to design of groupware systems // *Future Interaction Design 2*. London: Springer, 2008.
10. *Joos M., Malischke S., Pannasch S., Storch A., Velichkovsky B.M.* Comparing two gaze-interaction interfaces: A usability study with locked-in patients // *Proceedings of the EU Network-of-Excellence COGAIN 2007*. Leicester, UK, 2007.
11. *Vogel U., Kreye D., Richter B., Bunk G. et al.* Bi-directional OLED microdisplay for interactive see-through HMDs: Study toward integration of eye-tracking and informational facilities // *Journal of the Society for Information Displays*. 2009. № 17(3). P. 1–9.
12. *Межрегиональная ассоциация когнитивных исследований*. URL: www.cogsci.ru
13. *Велихов Е.П., Зинченко В.П., Лекторский В.А.* Сознание: опыт междисциплинарного подхода // *Вопросы философии*. 1988. № 11. С. 3–30.
14. *Величковский Б.М., Зеличенко А.И.* Компьютеры и познание: Очерки по когнитологии. М.: Наука, 1990.
15. *Величковский Б.М., Соловьев В.Д.* Компьютеры, мозг, познание. Успехи когнитивных наук. М.: Наука, 2008.
16. *Величковский Б.М., Боринская С.А., Вартапов А.В. и др.* Нейрокогнитивные особенности носителей аллеля $\epsilon 4$ гена аполипопротеина E (APOE). 2009, в печати.

Статья представлена научной редакцией «Философия, социология, культурология» 2 февраля 2010 г.