

Селиванов В.В., Борисов В.В., Мунерман В.И. Психологическое и математическое моделирование интеллекта //Известия СмолГУ, 2012. - №1 (17). - С. 333-349. (ISSN 2072-9464), издание, рекомендованное ВАК.

**Селиванов Владимир Владимирович**, зав. кафедрой общей психологии, доктор психологических наук, профессор, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Смоленский государственный университет, [vvsel@list.ru](mailto:vvsel@list.ru), г. Смоленск, 89107204233

**Борисов Вадим Владимирович**, проф. каф. вычислительной техники, доктор технических наук, профессор, Филиал Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский энергетический институт (технический университет)» в г. Смоленске, [yborisov@etna-it.ru](mailto:yborisov@etna-it.ru), г. Смоленск, (4812) 670039,

**Мунерман Виктор Иосифович**, доцент каф. информатики, кандидат технических наук, доцент, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Смоленский государственный университет, [vimoon@gmail.com](mailto:vimoon@gmail.com), г. Смоленск, (4812) 599153

УДК 159.9

## **Психологическое и математическое моделирование интеллекта**

*Ключевые слова: психологическая модель интеллекта; уровни категоризации; мышление; интеллект; прогнозирование; субъект; нейро-нечеткие модели и сети; нечеткая когнитивная карта; алгебра многомерных матриц; моделирование предметных областей; базы данных и знаний.*

*В статье рассматривается синтетическая психологическая модель интеллекта, в которую включены 32 базовых свойства (всего 56 компонентов), которые оказываются задействованными при решении задач субъектом (В.В. Селиванов). Осуществлено моделирование систем представления знаний как важного компонента интеллекта*

*средствами традиционной алгебры многомерных матриц (В.И. Мунерман) и средствами нечеткого когнитивного моделирования (В.В. Борисов).*

В современной психологии сохраняется интенсивное исследование сферы человеческого интеллекта, что связано, в том числе, с бурными темпами разработки искусственного интеллекта. Если Ж. Пиаже отмечал в своих исследованиях до 6 основных направлений в изучении интеллекта, то в настоящее время таких направлений насчитывается более 14 [8, с. 241-282]. Тестологическое направление в изучении интеллекта, обязанное своему появлению первым простым тестам Ф. Гальтона, который считал скоростные и некоторые другие показатели перцептивных процессов важнейшими индикаторами мышления, и тестам на IQ А. Бине и Т. Симона, до настоящего времени является одним из наиболее операциональных и методически разработанных. Сложность определения интеллекта, в том числе как психологической реальности связано прежде всего с тремя причинами: 1) до сих пор распространенным сенсуализмом (сведением специфики мышления к более простым познавательным функциям, отрицанием качественной специфичности мышления и интеллекта); 2) недоучетом исследований в области психологии мышления (так же и творчества) при построении психологических и кибернетических моделей интеллекта; 3) вынесением интеллекта как некоторой способности за пределы познавательных функций (процессов). Кроме того, наиболее выдающиеся из психологических структурных построений интеллекта (например, J.P. Guilford, 1967 - действия (оценивание, конвергентные, дивергентные, запоминание, познание); результат (элементы, классы, отношения, системы, преобразования, выводы); содержание (поведенческое, семантическое, символическое, изобразительное), всего 120 факторов 5X4X6; R.V. Cattell, 1971 – кристаллизованный интеллект, текучий интеллект, визуализация, память, скорость; R.J. Sternberg, 1985 - компоненты приобретения знаний (селективное кодирование, селективное сравнение, селективное объединение); метакомпоненты (построение стратегий, выбор стратегий, координация стратегий); компоненты исполнения (кодирование, вывод, применение) и др.) не являются достаточно функциональными моделями (процесс взаимодействия между компонентами, факторами интеллекта по ходу решения испытуемым задач изучен недостаточно). Процессы анализа, синтеза, анализа через синтез и др., на наш взгляд, являются важнейшим связующим звеном в структурных компонентах интеллекта (обеспечивают их взаимосвязь, направленность на объект и т.д.). Более того, по ходу мыслительной деятельности и развертывания мышления как процесса происходят функциональные изменения и других компонентов интеллекта (объема «рабочей» памяти, внимания, смыслов условий и требований задачи, предвосхищающих эмоций и др.).

Наиболее общая характеристика интеллекта – это способность к рассуждению и пониманию, в отличие от чувств и желаний, это способность к познанию, у человека – к осуществлению познавательной деятельности. На симпозиуме, изданном в журнале *Educational Psychology* в 1921, четырнадцать из всемирно известных ученых предложили определения интеллекта. Например, Левис Мадисон Термен (1877-1956) определил интеллект, в качестве способности к абстрактному рассуждению; Луи Леон Терстоун (1887-1955) – как способность преобразовывать инстинктивное приспособление в свете образного суждения и ошибки и преобразовывать измененное инстинктивное приспособление в открытое поведение для пользы индивидуума. Вероятно, одно из самых влиятельных определений было выдвинуто в 1944 году румынским по рождению американским психологом Дэвидом Векслером (1896-1981). Он считал, что интеллект – это системная или глобальная способность индивидуума действовать целеустремленно, думать рационально, и эффективно взаимодействовать с его окружающей средой [9, с. 370]. В целом большинство авторов характеризуют интеллект как способность к познанию и пониманию окружения с

целью организации собственного адаптивного поведения организма. Интеллект, таким образом, есть когнитивная характеристика психического, возникающая в эволюции на наиболее поздних этапах развития психики. Интеллект – это психическая организация, обеспечивающая возможность познавать мир и себя. Интеллект человека – это способ взаимодействия субъекта с познаваемым объектом, что уже выступает определенной способностью, обеспечивающей возможность познавать предметы и явления, строить поведение и жизнедеятельность адекватно их природе и собственной природе субъекта.

Существующее многообразие подходов к изучению психологии интеллекта не только не отрицает, но и предполагает создание синтетических моделей интеллекта, в которые были бы включены не только структурные, но и функциональные характеристики. Актуальной задачей для психологии интеллекта выступает синтезирование основных содержательных параметров интеллектуальной активности с современными механизмами и наработками в области психологии мышления (в том числе и в отечественной психологии).

В основе разработанной нами функциональной синтетической психологической модели интеллекта лежит концептуальный, методологический анализ современных психологических моделей интеллекта, из которых выделено 96 базовых свойств интеллекта. Через обобщение, а также с помощью семантического и интен-анализа отобрано 32 свойства, которые встречаются в большинстве теорий или предложены только в рамках одной парадигмы исследования, но выступают значимыми. Предлагаемая обобщенная структурно-динамическая модель интеллекта, включает в себя 32 базовых свойства (всего 56 компонентов), основные механизмы функционирования интеллекта и его формирование как способности. В данной модели, которая разработана при участии профессоров Д.В. Ушакова и В.Т. Кудрявцева, в обобщенном виде представлены основные содержательные компоненты интеллекта следующих теорий - Ж. Пиаже, Л. Терстоуна, К. Спирмена, Д. Гилфорда, Р. Стенберга, М.А. Холодной, Д.В. Ушакова. Особенностью модели является ее синтетический характер, в нее включены современные данные о функционировании перцептивных процессов (В.А. Барабанщиков), мыслительных процессов (А.В. Брушлинский); понимания (В.В. Знаков); образов-манипуляторов в мышлении (Н.Н. Поддъяков); абстрактных, содержательных обобщений (В.В. Давыдов), прогнозирования (Б.Ф. Ломов, А.Н. Леонтьев, А.В. Брушлинский); мыслительных смыслов (О.К. Тихомиров) и др. Преимуществом модели, вероятно, является тесная взаимосвязь содержания интеллекта с мышлением, творчеством, прогнозированием и пониманием, а также ее открытый характер – возможность дополнения новыми содержательными компонентами. Новизной модели является введение ортогональной плоскости динамики интеллекта (предложена Д.В. Ушаковым), которую представляют два основных компонента – интеллектуальный потенциал и принцип ЭУС (переход этапов функционирования в уровни структуры и ступени функционирования) Я.А. Пономарева. Данный момент позволяет рассматривать каждый из элементов структуры как изменяющийся, развивающийся в функционировании, совершенствующийся не только в горизонтальной, но и в перпендикулярной ей плоскости. Кроме того, еще одним из основных механизмов становления интеллекта является обобщение компонентов содержания в ходе функционирования и появления новых элементов структуры (С.Л. Рубинштейн). Мыслительные процессы выступают и компонентом структуры и механизмом функционирования и развития интеллекта.

**Краткое описание модели интеллекта.** В модель мы постарались включить все те процессы и свойства, которые задействованы субъектом при решении задач. Первая часть модели – это, условно, функционирование обогащенной мышлением перцептивной сферы человека (см. рис. 1).

Истоки человеческого интеллекта - не в отражении самих по себе познаваемых объектов (начало которого в регистрации информации анализаторами), а в фиксации субъектом взаимодействия между объектами, что обеспечивает выделение новых свойств объекта, его существенных характеристик. Спецификой интеллектуального взаимодействия человека со средой является включение мыслительных процессов (в

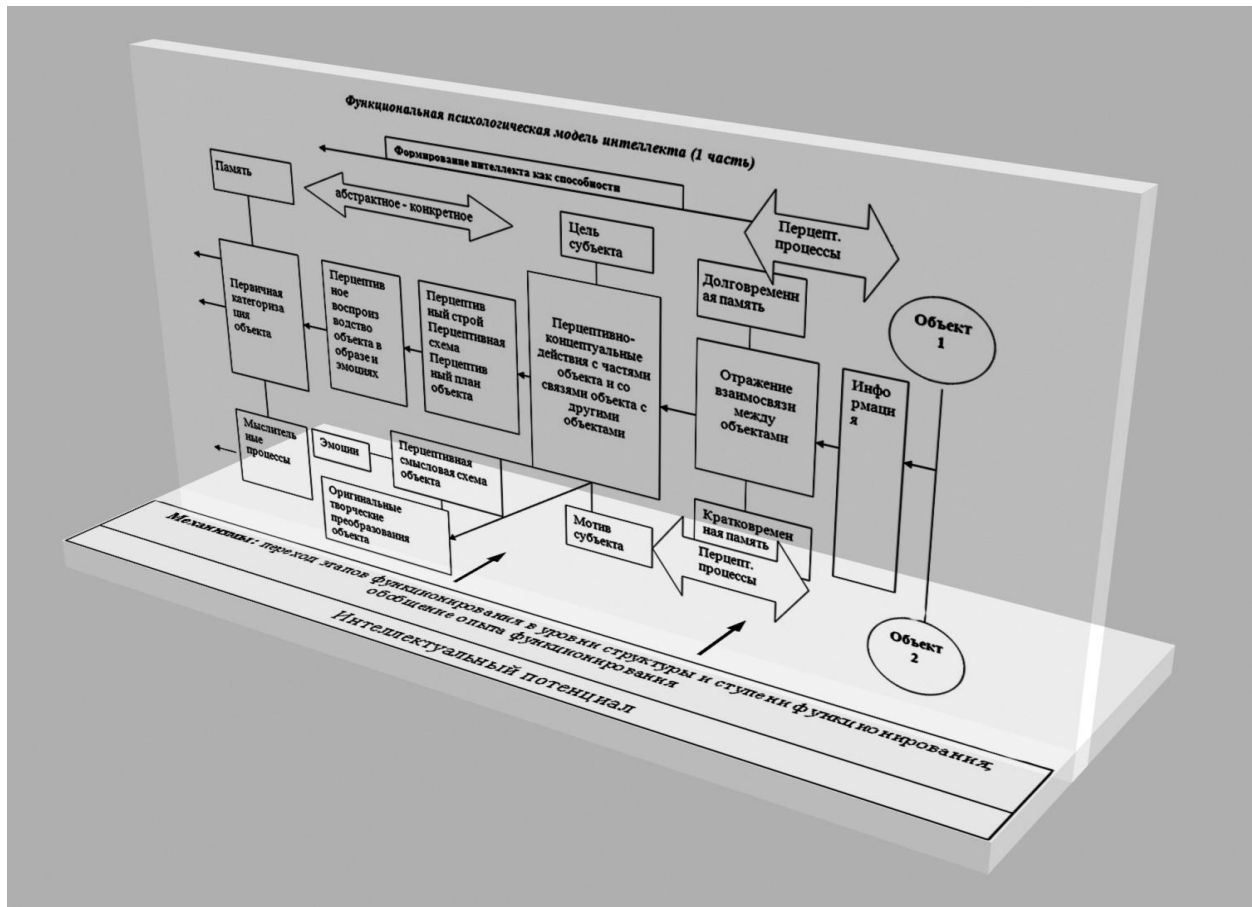


Рис. 1. Функциональная психологическая модель интеллекта, часть 1.

понимании А.В. Брушлинского) в перцептивное отражение информации. Мыслительные процессы, наряду с перцептивными сразу задействованы в обработке первичной сенсорной информации. Информация, зафиксированная сенсорными регистрами, уже хотя бы в минимальной степени проанализирована субъектом и отражена им в соответствии с его направленностью и соотносится с образами, знаниями и смыслами из долговременной и кратковременной памяти (прошлый опыт). В современной психологии восприятие понимается как непрерывный циклический процесс, включающий антиципацию необходимой информации, ее выделение из среды, организацию в рамках направляющей схемы и двигательную активность. Построение перцептивного образа объекта, детерминировано мотивом, целью субъекта, идеальными преобразованиями (действиями) над поступающей информацией, выражается в построении перцептивного строя, схемы, плана объекта [1]. Именно такое «обогащенное» и трансформированное мышлением, субъективное восприятие мы включаем в интеллект как его неотъемлемую часть. Перцептивно-концептуальные действия с частями объекта и со связями объекта с другими объектами неизбежно уже на этом этапе приводят к появлению оригинальных творческих преобразований объекта. Однако уровень первичной категоризации объекта в основном предполагает отнесение его к определенному классу, виду, узнавание объекта. Творческие преобразования, как правило, незначительны (осуществляются в пределах перцептивных характеристик объекта) и не осознаются. Все данные комплексные компоненты и механизмы интеллекта определяют формирование первичной категоризации объекта и воплощение его в качестве образа. Первичная категоризация объекта, как и первичный образ строятся в

основном на основе чувственно (перцептивно) воспринимаемых качеств. Функционально первичная категоризация необходима для начальной классификации, определения возможных действий с объектом в данный момент времени и прогноза, относительно его более инвариантных признаков.

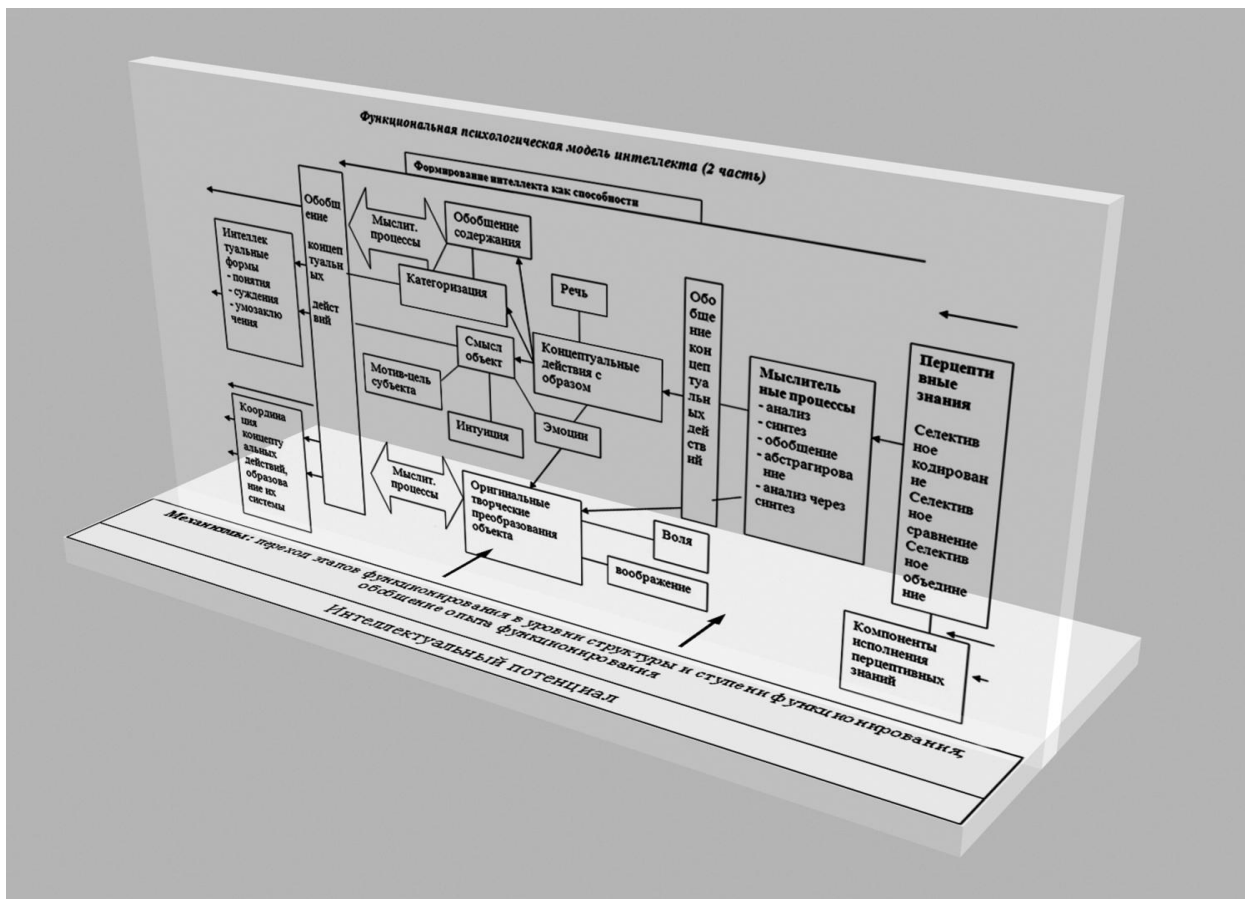


Рис. 2. Функциональная психологическая модель интеллекта, часть 2.

На базе первичной категоризации создается система перцептивных знаний, основанных на процессах селективного кодирования, сравнения, объединения (рис.2). Затем осуществляются механизмы мышления в более развернутом виде, прежде всего процессы – анализ, синтез, прогнозирование, анализ через синтез, абстрагирование, которые модифицируют первичные данные в соответствии с мотивом-целью субъекта, его эмоциями, волей, направленностью и подготавливают вторичную категоризацию объекта. Для ее реализации оказываются задействованными умственные действия с содержанием объекта, их обобщение, координация концептуальных действий, появление интеллектуальных форм, постоянное движение смысловой ткани объекта, концептуальное воспроизводство объекта мысли в понятиях и обобщенных способах действия приводят к его вторичной категоризации. Вторичная категоризация – продукт в большей мере мышления человека, которое трансформирует образную ткань, выделяя существенные свойства и организует существенное с несущественным, значимое с второстепенным, выстраивая структурно-динамическую модель объекта. Данный процесс осуществляется в понятиях, с активной ориентацией на прошлый опыт и прежние концептуальные знания субъекта. Воспроизводство объекта становится теоретическим, предполагающим более сокращенную понятийную структуру, которая включает не столько составные части объекта в наглядном виде, но в виде его существенных свойств, построение семантической сети, а также

определение объекта через его воспроизведение с помощью действий иных объектов (В.В. Давыдов), способов возможного частичного или полного формирования (или искусственного воспроизводства) объекта, в том числе, с помощью определенных орудий (Л.С. Выготский). Оригинальные творческие преобразования объекта носят полноценный характер, predeterminedены символической репрезентацией объекта в мышлении, затрагивают модификацию существенных свойств, устойчивы, обеспечиваются и интуицией, а также воображением субъекта.

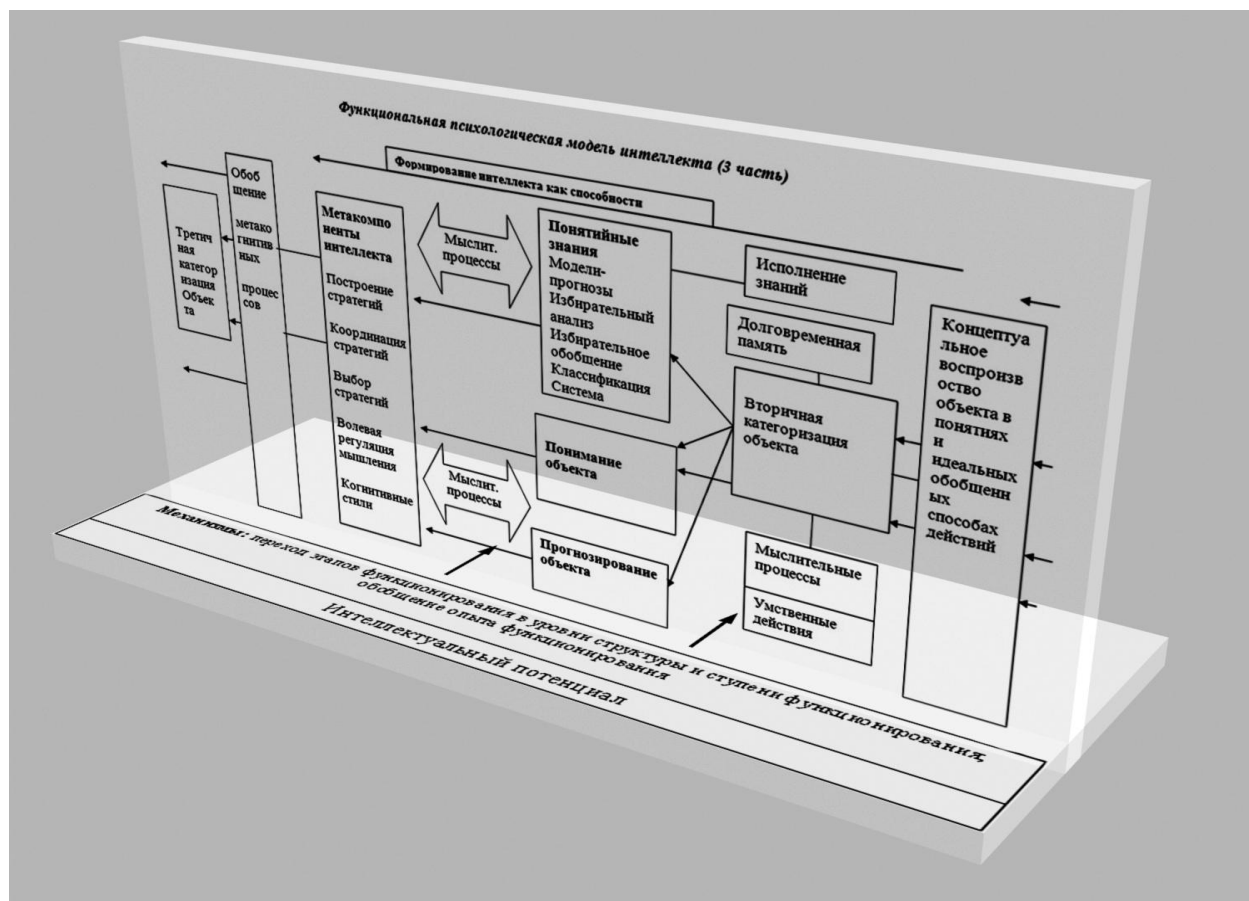


Рис. 3. Функциональная психологическая модель интеллекта, часть 3.

Вторичная категоризация predeterminedляет дополнение и изменение существующей системы понятийных знаний, выражающейся в моделях-прогнозах, в теоретических обобщениях, системах, классификациях (рис. 3). Вторичная категоризация подготавливает появление понимания объекта. Понимание как психологический феномен входит в интеллект, исходя из связи понимания и мышления (В.В. Знаков). Вторичная категоризация обеспечивает и сама во многом выступает в форме прогнозирования. Прогноз есть ожидание того, что произойдет. Такой вид прогнозов можно условно назвать – *автоматические прогнозы-ожидания*, осуществляющиеся на основе отражения в восприятии данных органов чувств, плюс соотнесения их с прошлыми впечатлениями и образами. Однако для мышления больше свойственны *прогнозы-открытия* [4]. Данный вид прогнозирования не только обеспечивает сличение нынешней информации с прошлым опытом, не только переструктурирует прошлый опыт субъекта, но направлен на открытие нового свойства познаваемого объекта, которое ранее не было известным субъекту. В таких прогнозах продуцируется новая информация. Мысленное прогнозирование обеспечивает и заключается в предвосхищении свойств познаваемого объекта и способов его познания на основе анализа через синтез. Прогнозы-открытия, вероятно, относятся к высшим уровням осуществления мышления и познания, они обеспечивают творчество, практически не моделируются

кибернетически. Прогнозы-ожидания и прогнозы-открытия составляют психологическое содержание и результат интеллектуальной деятельности, служат для гибкой адаптации человека к окружающему миру.

Третья категоризация объекта – продукт интенсивной задействованности прежде всего метакогнитивных компонентов интеллекта (их обобщения), а также понятийных знаний, процессов прогнозирования, понимания (рис. 4). Основными посредниками в формировании компонентов интеллекта выступают мыслительные процессы, они же обеспечивают формирование субъектного опыта познания, общения, действия, индивидуального опыта творчества, опыта интеллектуального функционирования, опыта мышления, запоминания, семантических репрезентаций,

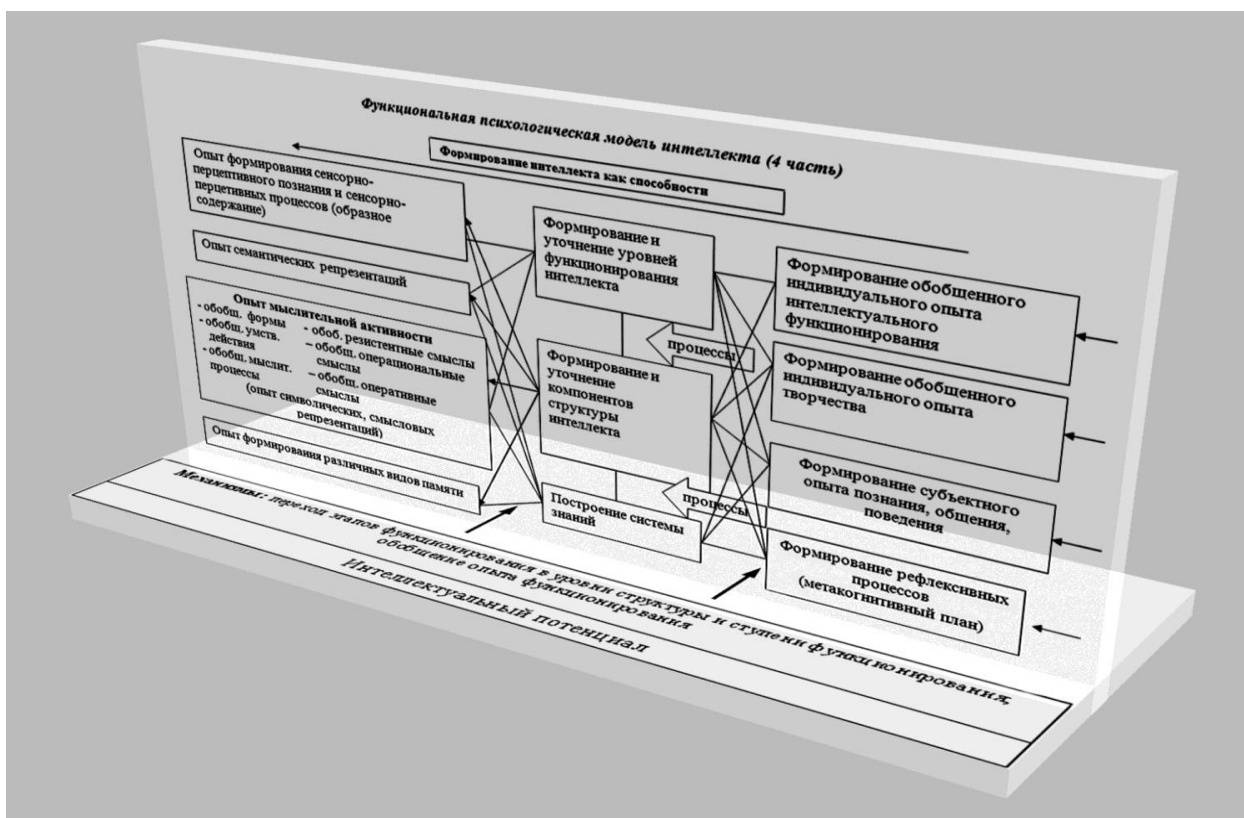


Рис. 4. Функциональная психологическая модель интеллекта, часть 4.

сенсорно-перцептивного познания, а также построение системы знаний и их представления. Данные интеллектуальные компоненты могут и разворачиваются в процессуальный план при решении задач. Они же обеспечивают саморегуляцию и самодетерминацию интеллекта через уточнение компонентов структуры интеллекта, через формирование и детализацию уровней функционирования интеллекта, осуществляемых субъектом [см. подробнее 6, 7].

Предложенная синтетическая модель интеллекта необходима, в том числе, для определения составных частей интеллекта на современном этапе развития психологии, она значима для определения возможных зон (психологических структур) для моделирования при построении искусственного интеллекта и др. При построении моделей искусственного интеллекта на основе структуры естественного интеллекта (вероятно, это наиболее надежный путь) все данные компоненты предложенной модели нуждаются в операционализации, прежде всего математической. В наших совместных исследованиях было осуществлено моделирование систем представления знаний как важного компонента интеллекта средствами традиционной алгебры многомерных матриц (В.И. Мунерман) и средствами нечеткого когнитивного моделирования (В.В. Борисов). В первой модели средствами традиционной алгебры система знаний субъекта предстает в виде определенных

параллельных структур (матриц), внутри каждой из которых возможно осуществление определенного количества операций. Это вариант наиболее обобщенной структуры возможного построения знаний. Математические операции осуществляются параллельно, что свойственно не только для искусственного, но и для естественного интеллекта. В целом человек выстраивает и знания параллельно, стараясь их выделить по определенному признаку значения и смысловым параметрам, но производит операции с ними сукцессивно, т.е. последовательно, от признака к признаку, от операции к операции. Хотя при опознании объекта и др. человек обращается сразу к нескольким признакам, осуществляя «параллельное» сканирование информации.

Рассмотрим модель представления знаний, основанную на алгебре многомерных матриц с произвольными типами элементов. Для построения модели используем следующие предположения:

1. Существуют абстрактные знания о предметной области, отражающие ее свойства в виде описания свойств и процедур взаимодействия отдельных объектов, а также событий вызывающих эти взаимодействия и изменяющие свойства объектов;

2. Существуют конкретные знания субъекта о той же предметной области, обусловленные его опытом взаимодействия с нею;

3. Абстрактные и конкретные знания о предметной области имеют структуру, соответствующую некоторой математической структуре, в дальнейшем, многомерной матрице;

4. Элементы этой структуры могут быть произвольных типов, в том числе и стохастических или нечетких.

5. Единственное требование к типам элементов, состоит в том, что они должны образовывать универсальные алгебраические системы с двумя операциями, интерпретируемыми как аддитивная и мультипликативная.

На основе этих предположений разрабатывается многомерно матричная модель представления, хранения и обработки знаний.

**Модель представления знаний.** Обозначим произвольную совокупность знаний о некоторой предметной области  $K_1, \dots, K_m$ , где  $K_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ) – знание, применимое при решении задач в данной предметной области. Например, знаниями о предметной области *базы данных* могут быть: знание моделей данных –  $K_1$ , знание языков манипулирования данными –  $K_2$ , знание математической логики –  $K_3$ . Знание  $K_3$  можно отнести также и к другим предметным областям, например, теория доказательств, программирование и другим. То есть, знания связаны с некоторым набором предметных областей  $A_1, \dots, A_n$ ,

Применение знания непосредственно связано с наступлением некоторого события или группы событий. Каждое событие возникает с определенной вероятностью. Рассмотрим совокупность событий  $E_1, \dots, E_q$  и шкалу значений вероятностей  $p_1, \dots, p_r$  ( $0 \leq p_i < 1$ ,  $i = 1, \dots, r$ ) возникновения этих событий. Величина  $r$  зависит от решаемой задачи и определяется точностью задания значений вероятностей событий  $E_1, \dots, E_q$ .

Можно определить значение  $V_{ijkl}$ , задающее величину применения знания  $K_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ) в предметной области  $A_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ) при наступлении события  $E_k$  ( $k = 1, \dots, r$ ) с вероятностью  $p_l$  ( $l = 1, \dots, r$ ). Совокупность таких значений при всех значениях индексов  $i, j, k, l$  можно представить как четырехмерную матрицу  $V = \parallel V_{ijkl} \parallel$ . Эта матрица выступает как совокупность двумерных сечений вида

$$\left\| \left[ \begin{array}{ccc} V_{1111} & \dots & V_{111n} \\ & \dots & \\ V_{11m1} & \dots & V_{11mn} \end{array} \right] \dots \left[ \begin{array}{ccc} V_{1k1} & \dots & V_{1k1n} \\ & \dots & \\ V_{1kn1} & \dots & V_{1kmn} \end{array} \right] \right\|.$$

Рассмотренная модель позволяет дать описание «объективных» знаний о каждой предметной области. Это общие знания, выработанные за все время изучения этих предметных областей. Аналогичный подход позволяет дать описание знаний о предметных областях некоторого множества людей, то есть задать «субъективные» знания каждого человека (субъекта) обо всех предметных областях. Таким образом, возможно построение матрицы субъектов  $S = \left\| S_{i_1 \dots i_p} \right\|$ ,  $i_\alpha = 1, \dots, n_\alpha$ ,  $\alpha = 1, \dots, p$ ). Среди измерений матрицы  $S$ , очевидно, будут встречаться измерения матрицы  $V$ , или, по крайней мере, некоторые из них.

Элементами матриц  $V$  и  $S$  могут быть произвольные объекты, удовлетворяющие требованию предположения 5. Таким образом, становится возможным использование алгебры многомерных матриц с произвольными типами элементов и сигнатурой  $\Omega_M = \langle \text{транспонирование, сечение, свертка, сложение, } (\lambda, \mu)\text{-свернутое произведение} \rangle$  [1].

Система  $U_M = \langle M; \Omega; \Pi \rangle$ , состоящая из семейства основных множеств  $M = \{A_\alpha\}$  ( $\alpha = 1, 2, \dots$ ), сигнатуры  $\Omega$  операций, определенных на семействе  $M$  так, что каждая  $n$ -арная операция из  $\Omega$  является отображением декартова произведения  $n$  множеств из семейства  $M$  в множество из того же семейства  $A_{\alpha_1} \times \dots \times A_{\alpha_n} \rightarrow A_{\alpha_r}$  и сигнатуры  $\Pi$   $n$ -местных предикатов  $\pi : A_{\alpha_1} \times \dots \times A_{\alpha_n} \rightarrow \{0,1\}$ , называется *многоосновой алгебраической системой*.

*Абстрактные типы данных* (они же *объекты* или *классы*), сокращенно АТД, определяются как многоосновые алгебраические системы.

Назовем *универсальной алгебраической машиной* АТД, которые представляют собой двухосновые алгебраические системы вида  $E = \langle S, T; \Omega; \Pi \rangle$ . Основу  $S$  назовем *структурой*, а  $T$  – *типом*. Структура представляет собой некоторую конструкцию, составленную из элементов *типа*. Типичные примеры такого рода структур – векторы матрицы, графы. Выбор *типа* определяется особенностями решаемой задачи. Очевидно, что если  $S$  – структура, а  $T_1, \dots, T_n$  – допустимые для этой структуры типы то  $T_1, \dots, T_n$  – однотипные алгебраические системы.

Практическая ценность универсальных алгебраических машин состоит в том, что суть операций над элементами структуры  $S$ , не изменяется при изменении сути операций над элементами типа  $T$ . Так как типы  $T_1, \dots, T_n$  гомоморфные универсальные алгебраические системы, то становится возможным использование универсальных алгебраических машин для моделирования представления знаний.

Таким образом, построена алгебраическая модель представления знаний. В этой модели знания представляются двумя главными матрицами (предметных областей и субъектов), построенными по принципу построения абстрактных алгебраических машин. При необходимости, могут быть построены и другие матрицы, уточняющие модель. Преобразование знаний задаются алгебраическими выражениями в алгебре многомерных матриц. Например, накопление знаний субъектом может быть реализовано сложением матриц, анализ знаний субъекта операциями транспонирования, сечения и свертки, анализ соответствия «субъективных» знаний «объективным» операцией умножения матриц предметных областей и субъектов. Механизм абстрактных алгебраических машин позволяет

использовать в качестве элементов матриц не только детерминированные типы, но и широко применяемые в задачах моделирования знаний стохастические и нечеткие типы данных [5].

На наш взгляд, более приближенной к реальной системе представления знаний в интеллекте субъекта, где мышление с его континуально-генетической природой играет важную роль, является модель когнитивной карты на основе нечетких множеств (В.В. Борисов). Установленные связи между концептами (знаниями) в когнитивной карте задаются экспертом (или аппаратурными данными). Это снижает возможности ее «обучения» по сравнению с нейросетью, однако обучение осуществляется в рамках «самодиагностики» рассогласования карты и т.д. Методы каузальной атрибуции служат для установления причинно-следственных отношений между знаниями (концептами), которые могут меняться. В обобщенной нечеткой когнитивной модели задается множество концептов и множество связей между концептами, описание состояний и правила задания взаимовлияния между концептами. Каждый концепт обобщенной нечеткой продукционной когнитивной карты описывается соответствующей лингвистической переменной, в которую включено термножество лингвистической переменной (набор лингвистических значений концепта, характеризующих его типовые состояния). Для описания термов, весов влияния между типовыми состояниями соответствующих типовым состояниям (значениям) концепта используются нечеткие переменные. Таким образом, данная модель представления знаний выступает динамической, учитывающей возможные изменения между концептами. Это реально работающая система.

Рассмотрим модель представления и обработки знаний методами нечеткого когнитивного моделирования [2]. Обобщенная нечеткая продукционная когнитивная модель (ОНПКМ) представляет собой нечеткую модель взаимовлияния системных факторов следующего вида:

$$G = (K, W),$$

где  $K = \{K_1, K_2, \dots, K_p\}$  – множество концептов,  $W = \{w_{ij}\}$  – множество связей между концептами, описание состояний и правила задания взаимовлияния между концептами. Каждый концепт  $K_i$  ( $i \in I = \{1, 2, \dots, p\}$ ) описывается соответствующей лингвистической переменной, задаваемой термножеством  $T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_{m_i}^i\}$ ,  $m_i$  – число типовых значений концепта. Веса влияния  $w_{ij}$  ( $i, j \in I = \{1, 2, \dots, p\}$ ) между типовыми значениями каждой пары концептов определяются лингвистической переменной, задаваемой термножеством  $T_{w_{ij}} = \{T_{11}^{w_{ij}}, \dots, T_{zl}^{w_{ij}}\}$ ;  $z \times l$  – число значений  $T_{w_{ij}}$ . На рисунке 5 показан пример структуры ОНПКМ.

**Модель динамики изменения представления знаний.** Предложенная модель динамики позволяет учитывать совместное влияние уровней и приращений концептов ОНПКМ:

$$\begin{cases} \tilde{K}_j(t+1) = \tilde{K}_j(t) \oplus [\bigoplus_{i=1, 2, \dots, N} \Delta \tilde{K}_{ij}(t+1)], \\ \Delta \tilde{K}_{ij}(t+1) = \tilde{f}_{ij}[\tilde{K}_i(t), \tilde{K}_j(t), \Delta \tilde{K}_i(t)], \end{cases}$$

где  $\tilde{K}_i$ ,  $\Delta \tilde{K}_{ij}$  – нечеткие множества, представляющие значения  $i$ -го концепта и приращения этого концепта, смежного с выходным концептом  $j$ ;  $\tilde{K}_j$ ,  $\Delta \tilde{K}_j$  – нечеткие множества, представляющие значения и приращения выходного концепта  $j$ ;  $\oplus$  – операция нечеткого алгебраического сложения;  $\tilde{f}_{ij}$  – нечеткий оператор, задающий нечеткое отображение типа «много входов – один выход» с тремя входами и одним выходом.

Зависимость  $\Delta \tilde{K}_{ij}$  не только от  $\Delta \tilde{K}_i$ , но и от состояний  $\tilde{K}_i$ ,  $\tilde{K}_j$ , позволяет учесть особенности нелинейного поведения моделируемой системы.

**Нечеткая продукционная модель для определения влияния концептов.** Для представления нечетких операторов  $\tilde{f}_{ij}$ , задающих взаимовлияние для пар концептов « $i$ -й

входной концепт –  $j$ -й выходной концепт», целесообразно использовать нечеткие продукционные модели, представляющие предпосылки ( $\tilde{K}_i, \tilde{K}_j, \Delta\tilde{K}_i$ ) и заключения ( $\Delta\tilde{K}_{ij}$ ) правил на основе нечетких множеств. Правила нечеткой продукционной модели для определения влияния  $\Delta\tilde{K}_{ij}$  в момент времени  $(t + 1)$  будут иметь следующий вид:

**Если  $\tilde{K}_i$  есть  $T_2^i$  И  $\tilde{K}_j$  есть  $T_1^j$  И  $\Delta\tilde{K}_i(t)$  есть  $NL$ , То  $\Delta\tilde{K}_{ij}(t+1)$  есть  $T_{21}^{wij}$ ,**

где  $NL$  – нечеткое множество для переменной  $\Delta\tilde{K}_i$  («малое отрицательное»).

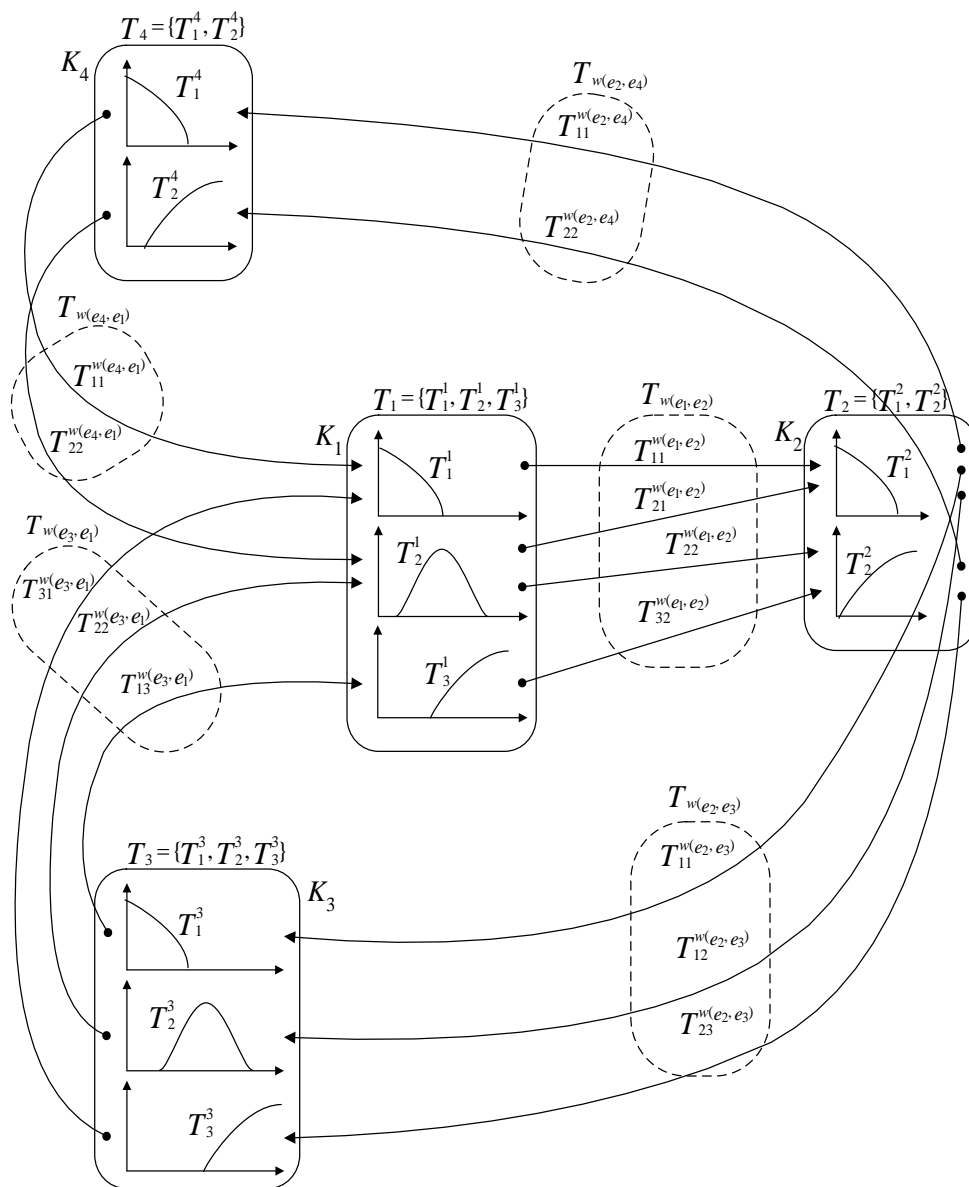


Рис. 5. Пример структуры ОНПКМ.

Для получения значений  $\Delta\tilde{K}_{ij}(t + 1)$  ( $i, j \in \{1, 2, \dots, p\}$ ) целесообразно использовать алгоритм нечеткого вывода Мамдани.

**Показатели для анализа динамики изменения представления знаний [2].**

По результатам вычислений  $\Delta\tilde{K}'_{ij}(t + 1)$  строится матрица положительно-отрицательных нечетких связей между концептами, от которой переходят к нечеткой матрице положительных связей  $H$  размером  $2p \times 2p$  с элементами:

если  $\Delta\tilde{K}'_{ij}(t+1) > 0$ , то  $h_{2i-1, 2j-1} = \Delta\tilde{K}'_{ij}(t+1)$ ,  $h_{2i, 2j} = \Delta\tilde{K}'_{ij}(t+1)$ ,  
 если  $\Delta\tilde{K}'_{ij}(t+1) < 0$ , то  $h_{2i-1, 2j} = -\Delta\tilde{K}'_{ij}(t+1)$ ,  $h_{2i, 2j-1} = -\Delta\tilde{K}'_{ij}(t+1)$ .

Остальные элементы принимают нулевые значения. Согласованные отношения взаимовлияния концептов определяются в результате транзитивного замыкания матрицы  $\mathbf{H}$ , а результат представляется в виде матрицы, состоящей пар элементов  $(v_{ij}, \bar{v}_{ij})$ :

$$v_{ij} = \max(h_{2i-1, 2j-1}, h_{2i, 2j}); \quad \bar{v}_{ij} = -\max(h_{2i-1, 2j}, h_{2i, 2j-1}).$$

На основе этой матрицы рассчитываются показатели для исследования состояния представленных знаний: *взаимный консонанс*, *диссонанс*, *положительное и отрицательное влияние* концептов друг на друга и на систему в целом и другие.

- консонанс и диссонанс влияния концепта  $K_i$  на концепт  $K_j$ :

$$c_{ij} = \frac{|v_{ij} + \bar{v}_{ij}|}{|v_{ij}| + |\bar{v}_{ij}|}; \quad d_{ij} = 1 - c_{ij};$$

- взаимный консонанс и взаимный диссонанс влияния концептов  $K_i$  и  $K_j$ :

$$\bar{c}_{ij} = \frac{|(v_{ij} + v_{ji}) + (\bar{v}_{ij} + \bar{v}_{ji})|}{|v_{ij} + v_{ji}| + |\bar{v}_{ij} + \bar{v}_{ji}|}; \quad \bar{d}_{ij} = 1 - \bar{c}_{ij};$$

- воздействие (влияние) концепта  $K_i$  на концепт  $K_j$ :

$$p_{ij} = \text{sign}(v_{ij} + \bar{v}_{ij}) \max(|v_{ij}|, |\bar{v}_{ij}|) \quad \text{для } v_{ij} \neq -\bar{v}_{ij};$$

- взаимное положительное и взаимное отрицательное влияние концептов  $K_i$  и  $K_j$ :

$$\bar{p}_{ij} = \bar{p}_{ji} = v_{ij} \mathbf{S} v_{ji}; \quad \bar{n}_{ij} = \bar{n}_{ji} = -|\bar{v}_{ij}| \mathbf{S} |\bar{v}_{ji}|;$$

где  $\mathbf{S}$  – соответствующая  $S$ -норма.

- консонанс и диссонанс влияния  $i$ -го концепта на систему (модель):

$$\bar{C}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{ij}; \quad \bar{D}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij};$$

- консонанс и диссонанс влияния системы на  $j$ -й концепт:

$$\bar{C}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{ij}; \quad \bar{D}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij};$$

- воздействие (влияние)  $i$ -го концепта на систему и системы на  $j$ -й концепт:

$$\bar{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{ij}; \quad \bar{P}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{ij};$$

- взаимный консонанс и диссонанс  $i$ -го концепта и системы:

$$I_i^{SC} = (\bar{C}_i \mathbf{S} \bar{C}_i); \quad J_i^{SC} = (\bar{D}_i \mathbf{S} \bar{D}_i)$$

Выбирая тип отношений и задавая  $\alpha$ -уровень их значений, можно получить бинарную матрицу и выделить классы взаимосвязанных концептов, характеризуемых этим уровнем относительно выбранного для анализа свойства.

**Подход к анализу динамики изменения представления знаний.** Анализ изменения динамики при представлении и обработке знаний на основе ОНПКМ может проводиться с учетом любого из вышерассмотренных показателей либо их совокупности. Этот анализ сводится к следующим шагам для моментов  $t = 1, 2, \dots$ . Во-первых, для текущих значений входных переменных определяются значения  $\Delta\tilde{K}'_{ij}$  ( $i, j \in I = \{1, 2, \dots, p\}$ ) в момент времени  $t$ .

Во-вторых, по результатам вычислений  $\Delta\tilde{K}'_{ij}$  определяются значения выбранных показателей ОНПКМ в момент  $t$ . Далее проводится анализ тенденций изменения показателей ОНПКМ. Результаты анализа позволяют делать вывод о характере и причинах такого изменения системных характеристик, а также прогнозировать возможные последствия динамики при соответствующем представлении и обработке знаний [3].

В свое время А.В. Брушлинский особое значение при математическом моделировании компонентов психического как процесса уделял теории нечетких множеств, которая в те годы еще только появилась в математике. Он полагал, что традиционная математика (построенная на основе теории множеств (где, по определению, множество - это такой класс предметов, в котором каждый элемент отделен друг от друга, т.е. дизъюнктивен (в исключительном смысле слова, например, при дихотомическом делении объема понятия)) не способна адекватно описать психическое (особенно мышление) как процесс, где строго отделенных друг от друга элементов не существует. В этом отношении две предлагаемые модели систем представления знаний существенно отличаются друг от друга. Однако во многом они дополняют друг друга. В психологии для описания структуры компонентов интеллекта возможно использование традиционной алгебры, в том числе многомерных матриц. Для описания динамики компонентов и моделирования мыслительных процессов интеллекта, вероятно, более адекватным представляется использование нечетких множеств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барабанщиков В.А. Психология восприятия: организация и развитие перцептивного процесса. М.: «Когито-центр», «Высшая школа психологии», 2006. 240 с.
2. Борисов В.В., Федулов А.С. Обобщенные нечеткие когнитивные карты // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. № 4. 2004. С. 3–21.
3. Борисов В.В., Устиненков Е.С. Анализ взаимодействий в сложных системах на основе нечетких когнитивных и игровых моделей // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. № 8. 2009. С. 4–11.
4. Брушлинский А.В. Мышление и прогнозирование. М.: Мысль, 1979. 230 с.
5. Емельченков Е.П., Левин Н.А., Мунерман В.И. Алгебраический подход к оптимизации разработки и эксплуатации систем управления базами данных // Системы и средства информатики /Дополнительный выпуск. М.: Изд. ИПИ РАН, 2009. С.114-137.
6. Селиванов В.В. Мышление в обобщенной структуре интеллекта // Психология интеллекта и творчества: Традиции и инновации: Материалы научной конференции, посвященной памяти Я.А. Пономарева и В.Н. Дружинина, ИП РАН, 7-8 октября 2010 г. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2010. С. 55-67.
7. Селиванов В.В. Психологические экспериментальные схемы изучения мышления и интеллекта // Современная экспериментальная психология в 2-х томах /Под ред. Барабанщикова В.А. М.: Институт психологии РАН, 2011. Т. 1. С. 299-321.
8. Холодная М.А. Интеллект // Когнитивная психология /Под ред. В.Н. Дружинина, Д.В. Ушакова. М.: ПЕР СЭ, 2002. С. 241 – 282.
9. Oxford dictionary of psychology (Andrew M. Colman). Oxford university press, 2001. 844 p.

**V.V. Selivanov, V.V. Borisov, V.I. Munerman**

### **Psychological and Mathematical Modeling of the Intelligence**

*Keywords: psychological model of intelligence; levels of the categorization; thinking; intelligence; prognostication; the subject; neuro-indistinct models and networks; indistinct cognitive map; algebra of multivariate matrixes; modelling of subject domains; databases and knowledge.*

*In the article the generalized functional psychological model of structure of intelligence is developed. This model of intelligence, includes 32 base properties (whole - 56 components), which occurs at the decision of problems by the personality (V.V. Selivanov). Modelling systems of representation of knowledge as important component of intelligence by means of traditional algebra of multivariate matrixes (V.I. Munerman) and means fuzzy of cognitive modelling has been carried out (V.V. Borisov).*