

## ОБЪЕКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕСУРСНОЙ ТЕОРИИ ВНИМАНИЯ

**И.А. ЧМЫРЬ, И.А. ЖИРЯКОВА**

Приведены результаты теоретических исследований, цель которых — получение формализованного класс-структурированного описания ресурсной теории внимания. В качестве средства и метода формализации используется унифицированный язык моделирования UML (Unified Modeling Language), а прототипа — ресурсная теория внимания Д. Канемана. Дано краткое описание этой теории и ее формализованной модели. Рассмотрены возможные сферы применения полученных моделей.

### ВВЕДЕНИЕ

Традиционный подход к проектированию систем искусственного интеллекта (ИИ), названный С. Расселом и П. Норвигом «проектирование систем, действующих, как человек» [1], базируется на операционном определении интеллектуальности в соответствии с известным тестом Тьюринга. Однако такой подход не единственный. Настоящая статья отражает подход, именуемый «проектирование систем, думающих, как человек». Понимание системы ИИ, демонстрирующей не только внешнее «человеческое» поведение, но и копирующей психологические его функции, чаще всего связывается с моделями, полученными в когнитивной психологии. В работе [2] сделана попытка интеграции отмеченных подходов. В [3–7] показана возможность применения объектно-ориентированной концепции в версии унифицированного языка моделирования UML (Unified Modeling Language) для моделирования когнитивных процессов и возможность использования полученных моделей для разработки программных симуляторов. Данная статья продолжает эти разработки и посвящена класс-структурированному представлению ресурсной теории феномена внимания [8].

Феномен внимания является одним из ключевых в исследованиях ментальной деятельности человека. Система внимания тесно связана с сенсорной системой и обеспечивает селективное восприятие окружающего мира. Внимание также имеет отношение к категоризации сенсорных событий (распознается то событие, на котором оно сфокусировано) и с ментальными процессами, выполняемыми осознанно, в отличие от автоматических, не требующих внимания. Восприятие новых, впервые появившихся внешних стимулов, а также решение новых, ранее не встречавшихся, задач требуют внимания.

Селективный характер внимания в процессе восприятия часто ассоциируется с процессом фильтрации внешних стимулов. Модели внимания, базирующиеся на идее фильтрации, представляют внимание как психологический фильтр. Эти модели отличаются местом расположения фильтра в цепочке информационной трансформации внешнего сенсорного события, а

также характером психологической фильтрации. В модели фильтрации внимания, предложенной Д. Бродбентом, предполагается, что фильтр расположен между сенсорной системой и системой категоризации и работает как переключатель входных потоков сенсорных событий по принципу «все или ничего» [9]. В модели фильтрации внимания, предложенной А. Трейсмано [10], фильтр располагается в той же точке, что и в модели Д. Бродбента, однако иначе интерпретирует его работу. Согласно [10] фильтр пропускает все без исключения входные потоки сенсорных событий. При этом все потоки, кроме релевантного, существенно ослаблены. Поэтому распознаются только события из релевантного потока. В модели фильтрации внимания, предложенной Й. Дойч и Д. Дойч предполагается, что фильтр-переключатель расположен после блока категоризации [11]. Таким образом, согласно этой модели все входные сенсорные события подвергаются категоризации, а селекция осуществляется на уровне процессов принятия решений.

Ресурсная теория внимания, впервые предложенная Д. Канемано [8], ассоциирует внимание с ментальным усилием или ресурсом. Любая ментальная задача, выполняемая осознанно, может быть решена только в том случае, если ей выделен необходимый ресурс. Ресурсная теория внимания является более общей, чем теория фильтрации, и объясняет большее количество экспериментальных данных, полученных при исследовании феномена внимания.

#### **РЕСУРСНАЯ ТЕОРИЯ ВНИМАНИЯ Д. КАМЕМАНА**

В публикациях, посвященных исследованию внимания, легко обнаружить несколько направлений, отличающихся как совокупностью экспериментальных данных, положенных в основу теории внимания, так и используемой терминологией. Например, теории фильтрации внимания являются главным образом обобщением результатов экспериментов, полученных при изучении слухового внимания. Теория Д. Канемана, хотя и не различает явно сенсорные модальности, но часто опирается на результаты экспериментов по изучению визуального внимания.

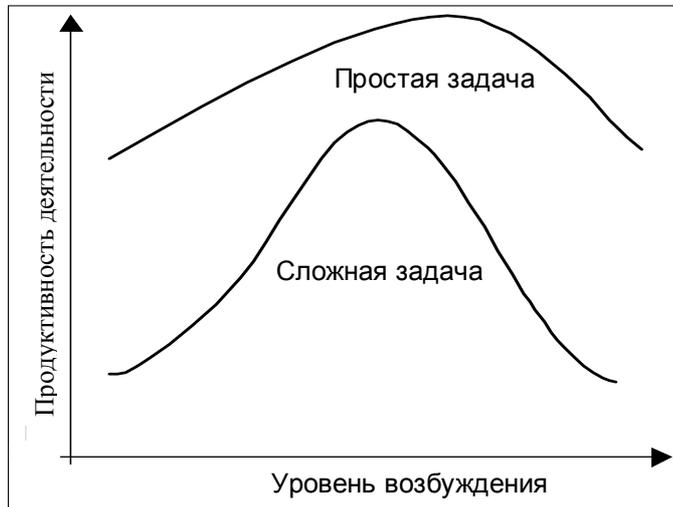
Теории фильтрации внимания объясняют его селективный характер, проявляющийся в процессе восприятия. Однако феномен внимания обладает не только свойством селективности и проявляется не только в процессе восприятия. Понятие «внимание» содержит также способность человека осознанно решать ментальные задачи. Это могут быть задачи восприятия, например, осознанная селекция одного из входных сенсорных событий и его категоризация, или задачи принятия решений с соответствующей моторной реакцией. Одним из факторов успешного осознанного их решения является количество внимания, которое им выделяется.

Д. Берлин [12] обратил внимание на связь между вниманием и степенью возбуждения организма. Успешность решения задачи и степень возбуждения не связаны линейной зависимостью, а подчиняются закону Йеркеса–Додсона [13], который можно проиллюстрировать рис. 1.

Из закона Йеркеса–Додсона следует: имеется некоторый оптимальный уровень возбуждения, при котором успешность решения задачи (продуктивность ментальной деятельности) является наивысшей, а также то, что как

недовозбуждение, так и перевозбуждение оказывают одинаково негативный эффект на успешность решения задачи.

Д. Канеман [8] предполагает, что не любое возбуждение определяет успешность решения задачи, а только тот его тип, который способствует *ментальному усилию*



ментальному усилию (mental effort). Поэтому Д. Канеман отождествляет такие выражения, как «уделить внимание» (pay attention), «приложить ментальное усилие» (exert effort), или «инвестировать способность» (invest capacity). Таким образом, внимание — это некий ментальный ресурс, без которого осознанная психологическая активность невозможна.

Рис. 1. Графическая интерпретация закона Йеркеса-Додсона

Одно из главных предположений Д. Канемана заключается в том, что *общее количество внимания, которое человек может выделить для решения ментальных задач в каждый момент времени, ограничено*, и поэтому организм вынужден решать задачу рационального распределения ограниченного ресурса внимания между несколькими задачами.

Теория Д. Канемана не дает полного ответа на вопрос о логической или физической природе ресурса внимания. Предполагается, что каждой ментальной деятельности соответствует некоторая *когнитивная структура (КС) в долговременной памяти*. Такая структура может находиться в активном или пассивном состоянии. Выделение ресурса внимания эквивалентно активизации той КС, которая релевантна задаче, требующей решения. *В общем случае для осознанной ментальной деятельности необходимо, чтобы соответствующая КС получила как порцию информации со стороны сенсорной системы, так и ресурс внимания.*

На диаграмме (рис. 2) показаны базовые концептуальные элементы теории внимания Д. Канемана. В каждый момент времени существует некоторое конечное множество ментальных задач, претендующих на выделение ресурса внимания. Предполагается, что каждой из задач соответствует КС в долговременной памяти. Только те КС, которые были выбраны, получили ресурс внимания и, возможно, порцию сенсорной информации, становятся активными, а соответствующая им ментальная деятельность выполняется осознанно. Д. Канеман предполагает, что для автоматического выполнения ментальных процессов достаточно, чтобы соответствующие КС были только выбраны и получили сенсорную информацию. Для таких задач нет необходимости выделять ресурс внимания. Поэтому модель (рис. 2) рассматривает только задачи, решаемые осознанно. Позволим себе сделать предположение,

что КС, которая получила ресурс внимания, может изменяться в процессе решения задачи, и это — главное отличие осознанного решения от автоматического. При автоматическом решении задачи соответствующая ей КС остается неизменной.

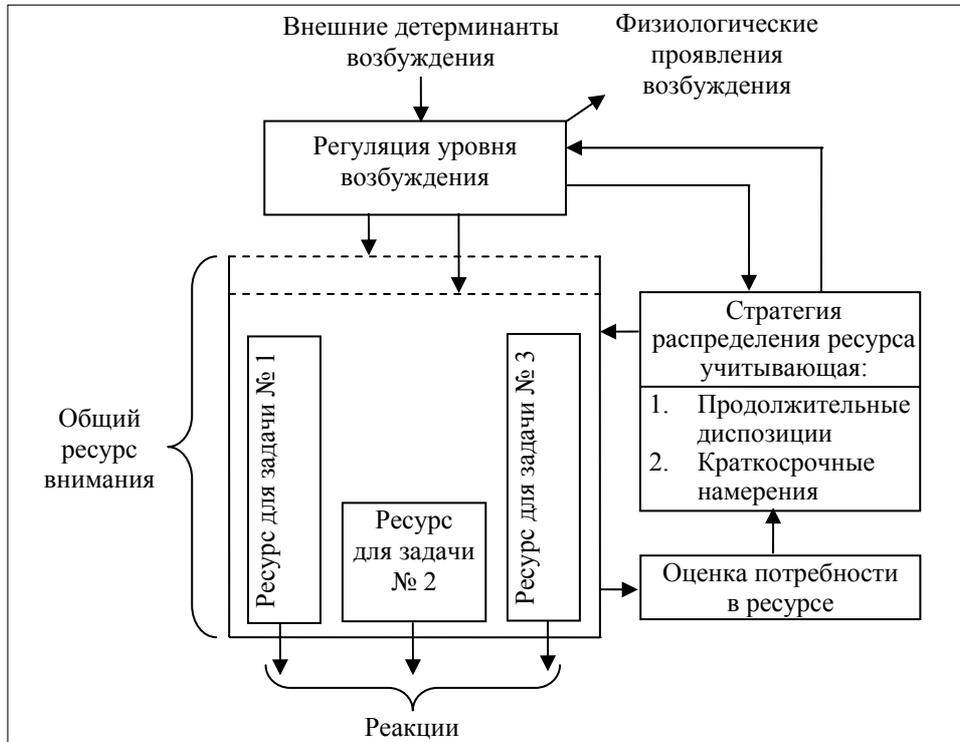


Рис. 2. Базовые концептуальные элементы теории внимания Д. Канемана (пунктирные линии — возможность изменения общего ресурса внимания)

Различные ментальные задачи требуют разное количество ресурса внимания, или разный «размер» КС. В тех случаях, когда задача не получает достаточного количества ресурса внимания, она либо не решается, либо решается с ошибками. Таким образом, задача не решается в том случае, когда по той или иной причине не получила: 1) необходимого ресурса и 2) достаточного количества сенсорной информации. Так, например, если в некотором тексте отсутствует часть букв, то мы можем, сконцентрировав внимание (привлекая дополнительные знания и увеличивая «размер» КС), восстановить его в исходном виде. Однако ясно, что если в тексте отсутствует слишком большое количество букв, то никакая концентрация внимания не позволит восстановить его в исходном виде.

Модель Д. Канемана (рис. 2) содержит два важных элемента: *стратегию распределения ресурса* (allocation policy) и *оценку потребности в ресурсе* (evaluation of demands). Количество ресурса, необходимое и достаточное для решения задачи, имманентно присуще самой задаче. Элемент модели, названный «оценка потребности в ресурсе», определяет количество ресурса и выделяет его, что происходит только в том случае, если задача выбрана вторым элементом модели — стратегией распределения ресурса. Ресурс внимания могут получить только выбранные стратегией распределения ресурса.

Д. Канеман не относит рассматриваемые элементы модели (оценку потребности в ресурсе и стратегию распределения) к ментальным задачам, которые сами потребляют ресурс внимания. Поэтому будем считать, что эти задачи выполняются автоматически без участия сознания. Работа стратегии распределения ресурса подчиняется следующим четырем принципам:

1. *Принцип продолжительных диспозиций* (enduring dispositions). Ресурс внимания должен выделяться непреднамеренно (involuntary) для решения таких задач, как, например: наблюдение за движущимся объектом, внезапно появившемся в поле зрения; слушание разговора, в котором упомянуто ваше имя и т.п. Этот принцип применим во всех случаях, когда в окружающей среде появляется новый, экстраординарный и подозрительный стимул.

2. *Принцип краткосрочных намерений* (momentary intention). Ресурс внимания должен выделяться преднамеренно (voluntary) для решения таких задач, как, например: слушание голоса в правом наушнике, разыскивание рыжеволосого мужчины со шрамом и т.п. Предполагается также, что ресурс, выделенный для решения задач, перешедших в ранг рутинных, уменьшается, что, с одной стороны, тормозит решение рутинных задач, а, с другой — высвобождает ресурс для решения задач, связанных с обработкой новых и подозрительных стимулов.

3. *Принцип оценки потребности в ресурсе*. Если две задачи требуют увеличения ресурса, то одна из них завершается. В случае, если детектируется подозрительный стимул, этот принцип позволяет прогнозировать потребность в ресурсе для задач обработки подозрительных стимулов. Убыстренное движение глаз и наостренные уши у кошек и собак являются признаком готовности к решению задачи, связанной с обработкой подозрительного стимула. Тревожный звук с конкретного направления является признаком, вызывающим перераспределение ресурса с целью облегчения регистрации и обработки стимулов, поступающих с этого направления.

4. *Принцип регуляции уровня возбуждения*. Если общего ресурса недостаточно, то его можно увеличить путем увеличения уровня возбуждения. В случае, когда детектируется подозрительный стимул, уровень возбуждения и общий ресурс внимания повышаются. Это делается с целью подготовки к возможному решению задачи по обработке подозрительного стимула.

Даже в том случае, когда со стороны задач отсутствуют требования о выделении ресурса, некоторое количество внимания все равно зарезервировано. Этот ресурс используется для непрерывного мониторинга окружающей среды и называется *резервный ресурс* (spare capacity). Опыты показывают, что резервный ресурс может, тем не менее, частично использоваться, если возникает потребность в увеличении ресурса для решения первоочередной задачи.

Существует взаимная зависимость между степенью возбуждения, общим ресурсом внимания и множеством активных задач. Если для решения задачи требуется увеличение ресурса внимания, то это приводит к увеличению степени возбуждения и, следовательно, к увеличению общего ресурса внимания. С другой стороны, если внешние детерминанты изменяют уровень возбуждения, то это сказывается на решении задач. Согласно Д. Канеману регуляция уровня возбуждения выполняется автоматически и не находится под управлением сознания.

Существуют внешние и внутренние источники возбуждения. *Внутренние источники* используются системой автоматического отслеживания требуемого ресурса. К *внешним источникам* относятся источники безусловно повышающие возбуждение даже тогда, когда в этом нет необходимости с точки зрения потребности решаемой задачи. К внешним источникам относятся: тревога, страх, мускульное напряжение (muscular strain), сексуальное возбуждение (sexual excitement), прием лекарственных препаратов. Увеличение возбуждения может быть зарегистрировано в следующих физиологических проявлениях: расширение зрачков, увеличение электрической проводимости кожи и учащение пульса.

Закон Йеркса–Додсона можно интерпретировать как зависимость ресурса внимания от возбуждения. Поэтому объяснение этого закона связано с природой ресурса внимания. Одно из объяснений дает Й. Истербрук [14]: возрастание возбуждения приводит к более точному выбору КС (сужению диапазона КС), которые организм использует для ментальной деятельности. При низком уровне возбуждения диапазон КС широкий и содержит как релевантные, так и нерелевантные структуры. Большая доля нерелевантных структур затрудняет решение задачи. При возрастании возбуждения количество нерелевантных структур уменьшается, и эффективность решения задачи увеличивается. При дальнейшем возрастании возбуждения часть релевантных КС не попадает в диапазон, и эффективность решения задачи снова уменьшается. Оптимальный диапазон КС, необходимый для решения сложных задач, шире, чем тот, который необходим для решения простых, что подтверждают графики на рис. 1. Последнее предположение подтверждается тем, что перевозбужденные субъекты лучше справляются с простыми задачами, чем со сложными.

Метафорическое описание внимания дает П. Вачтел [15]. Он рассматривает внимание как луч света, в котором центральная яркая часть представляет собой фокус, окруженный менее интенсивным краем. Такой луч имеет две характеристики, определяющие ресурс: ширину луча и протяженность рыскания луча при сканировании поля активизации КС.

## ОБЪЕКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕСУРСНОЙ ТЕОРИИ ВНИМАНИЯ

Для получения класс-структурированного описания теории внимания Д. Канемана необходимо *транслировать концептуальный базис этой теории в концептуальный базис объектно-ориентированного моделирования.*

Для описания теории внимания Д. Канемана воспользуемся UML-диаграммами классов, предназначенными для представления статической структуры модели системы в терминологии классов объектно-ориентированного программирования.

Начнем с некоторого обобщения. Будем считать, что на каждом этапе (шаге) активности организма окружающая среда ставит его перед необходимостью решать ментальную задачу. *Таким образом, окружающую среду правомерно рассматривать как постоянный работающий генератор ментальных задач.*

Введем в рассмотрение класс ментальных задач **MentalTask**, примеры которого соответствуют задачам взаимодействия с окружающей средой. Ат-

рибуты класса **MentalTask** — релевантная КС и информация со стороны сенсорной системы.

Человек воспринимает объекты и события окружающей среды, а не сенсорные входы той или иной модальности. Поэтому понятие «сенсорное событие», используемое в работе [6], интегрирующее несколько сенсорных модальностей, шире понятия «внешний стимул». Будем считать, что атрибут класса **MentalTask**, соответствующий информации от сенсорной системы, представляет собой сенсорное событие (**SensoryEvent**).

Второй атрибут класса **MentalTask**, называемый Д. Канеманом «когнитивные структуры долговременной памяти» — это схемы, общепринятые в когнитивной психологии (см., например [16, с. 165–189]).

Класс ментальных задач распадается на два подкласса: задачи, решение которых контролируется (**VoluntaryControlTask**) и не контролируется (**InvoluntaryControlTask**) сознанием.

Выбор схемы и ее активизация (выделение ресурса) для задач класса **VoluntaryControlTask** осуществляются по *принципу краткосрочных намерений* (momentary intention), предполагающему выбор схемы и ее активизацию. Выбор схемы для задач класса **InvoluntaryControlTask** осуществляется по *принципу продолжительных диспозиций* (enduring dispositions), предполагающему автоматический выбор схемы без ее активизации.

В процессе формализации модели внимания Д. Бродбента [7] введена классификация сенсорных событий, разделяющая их на рутинные и подозрительные, что хорошо согласуется с предложением Д. Канемана рассматривать два типа селекции: voluntary selection (произвольная или осознанная селекция) и involuntary selection (непроизвольная или автоматическая селекция). Можно предположить, что *непроизвольная селекция имеет место в том случае, когда обнаруживается (детектируется) подозрительное событие*.

На рис. 3 приведена диаграмма классов, отражающая структуру системы ментальных задач в теории Д. Канемана.

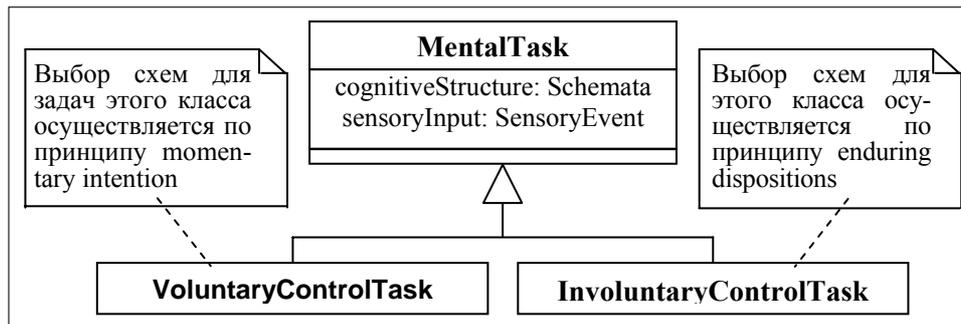


Рис. 3. Структура системы ментальных задач: **VoluntaryControlTask** — решение контролируется сознанием и **InvoluntaryControlTask** — решаются автоматически

Одна из отличительных черт теории Д. Канемана в том, что она интегрирует понимание внимания как феномена, связанного с восприятием, и понимание внимания как ресурса, необходимого для решения ментальных задач. Как следует из теории Д. Канемана, при решении ментальной задачи, организм использует механизм внимания в двух направлениях:

1. Внимание фокусируется на тех сенсорных событиях, которые необходимы для решения ментальной задачи. Здесь механизм внимания работает как селектор сенсорных событий в смысле теорий фильтрации внимания [9–11].

2. Внимание фокусируется на схемах, релевантных некоторой задаче, и должны быть активизированы. Здесь механизм внимания работает как селектор схем.

Таким образом, внимание является неким «посредником» между классами ментальных задач и схем, а также классом сенсорных событий. Иными словами, внимание можно рассматривать как тернарное отношение между следующими классами: ментальных задач (**MentalTask**); сенсорных событий (**SensoryEvent**) и релевантных схем (**TaskRelevantSchemata**).

На рис. 4 приведена диаграмма классов, отражающая точку зрения на внимание как на тернарное отношение.

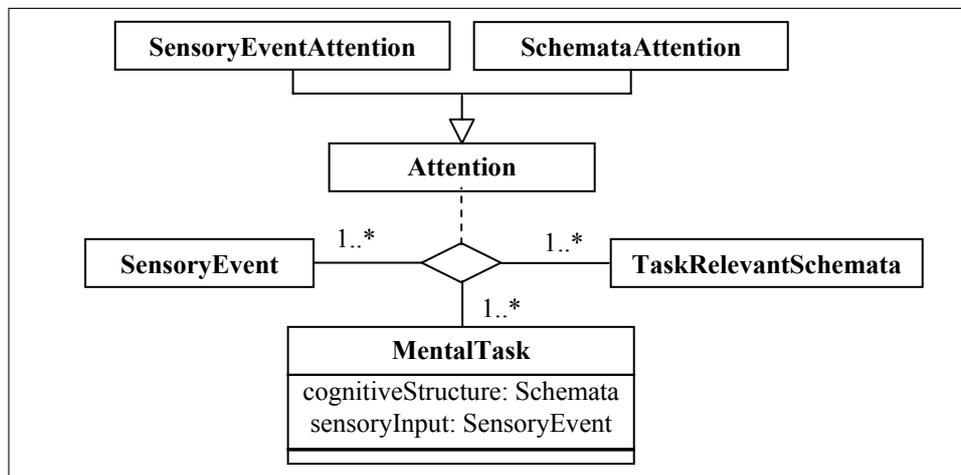


Рис. 4. Моделирование внимания тернарной ассоциацией, представленной в виде класса

Особенностью модели (рис. 4) является понимание внимания как отношения между классами, для моделирования которого использовано отношение типа «ассоциация», рассматриваемое, в свою очередь, в виде класса **Attention**. Класс **Attention** — базовый для двух субклассов: **SensoryEventAttention** и **SchemataAttention**. Класс **SensoryEventAttention** «отвечает» за фокусировку внимания на сенсорных событиях, соответствующих решаемой задаче, а класс **SchemataAttention** — за фокусировку внимания на схемах, которые релевантны задаче и должны быть активизированы.

С учетом базовых понятий теории Д. Канемана опишем класс **SchemataAttention** при помощи следующих атрибутов и операций:

- `spareCapacity: Capacity` — атрибут, моделирующий резервный ресурс;
- `totalCapacity: Capacity` — атрибут, моделирующий общий, ограниченный ресурс;
- `arousal (sources out totalCapacity)` — операция, моделирующая зависимость общего ресурса от возбуждения и реализующая закон Йеркеса-Додсона, `sources` — источники возбуждения (мышечное напряжение, прием лекарственных препаратов и т.п.);

- `evaluationDemands()` — операция, моделирующая принцип оценки потребности в ресурсе;
- `selectionAndAllocation()` — операция, моделирующая выбор и закрепление ресурса за задачей. Эта операция осуществляет выбор схемы и ее возможную активизацию, реализует принцип продолжительных диспозиций и принцип краткосрочных намерений.

Объединяя диаграммы (рис. 3 и 4), с учетом введенных операций получаем представление теории внимания Д. Канемана в виде обобщенной диаграммы классов (рис. 5).

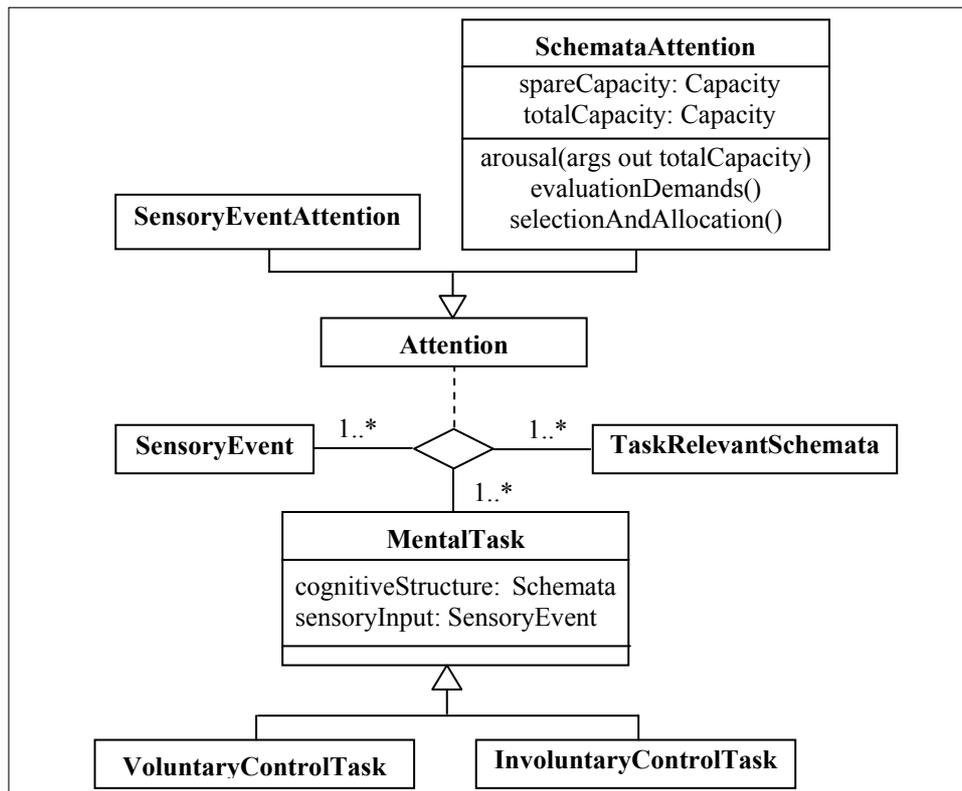


Рис. 5. Класс-структурированное представление теории внимания Д. Канемана

## ВЫВОДЫ

Показана возможность применения идей и методов современной теории объектного моделирования и унифицированного языка моделирования UML для формализованного описания ментальных процессов и феноменов. В ходе моделирования определилось новое понимание феномена внимания: *внимание играет роль отношения между классами ментальных задач, релевантных схем и сенсорных событий*.

Возможны следующие направления использования полученных результатов. Структурно-графическое описание теории внимания Д. Канемана (рис. 3–5) предлагается использовать в учебном процессе в дисциплинах, которые относятся к когнитивным наукам и искусственному интеллекту. Это особенно актуально для студентов, обучающихся по специальностям,

объединенным в «компьютерные науки». Авторы считают, что отмеченные диаграммы и их описание могут быть полезны при создании современного учебника по указанным дисциплинам.

Феномен внимания — только одно из проявлений ментальной деятельности человека. Поэтому важно уметь интегрировать различные модели ментальной деятельности в более обширные и когерентные модели. Например, интегрировать модели фильтрации внимания и ресурсные модели внимания, модели восприятия и внимания и т.п. Способ формализации описаний когнитивных моделей, использованный в настоящей статье, является по сути способом унифицированного представления различных концепций и теорий в области когнитивных наук и существенно облегчает задачу интеграции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Russel S., Norvig P.* Artificial Intelligence. A Modern Approach // Prentice Hall, New Jersey. — 1995. — 932 p.
2. *Wagman M.* Cognitive Psychology and Artificial Intelligence. Theory and Research in Cognitive Science // Praeger Publishers, Westport. — 1993. — 180 p.
3. *Sinan Si Alhir* Guide to Applying the UML. Springer-Verlag, 2002. — 252 p.
4. *Chimir I., Horney M.* New Visions of Old Models. In W. M. Beynon, C. L. Nehaniv & K. Dautenhahn (Eds.), Cognitive Technology: Instruments of Mind (Proc. 4-th International Conference on Cognitive Technology, CT 2001. — University of Warwick, U.K.), Springer Lecture Notes in Artificial Intelligence. — 2001. — **2117**. — P. 157–163.
5. *Чмырь И.А., Верлань А.Ф.* Объектно-ориентированное моделирование когнитивных процессов // Электронное моделирование. — 2002. — **24**. — № 4. — С. 53–64.
6. *Чмырь И.А., Рауд Мусса Аль-Кавасми.* Цикл перцепции Нейсера: формальное представление и практическое применение // Искусственный интеллект. — 2003. — № 1. — С. 107 – 116.
7. *Чмырь И.А., Рауд Мусса Аль-Кавасми, Жирякова И.А.* Объектные модели фильтрации внимания: классификация и интеграция // Искусственный интеллект. — 2003. — № 2. — С. 52–63.
8. *Kanheban D.* Attention and Effort // Prentice-Hall, New Jersey, 1973. — 247 p.
9. *Broadbent D.E.* Perception and Communication // Oxford: Pergamon, 1958. — 252 p.
10. *Treisman A.M.* Strategies and models of selective attention // Psychological Review. — 1969. — P. 18–26.
11. *Deutsch J.A. and Deutsch D.* Attention: Some theoretical consideration // Psychological Review. — 1963. — **70**. — P. 80–90.
12. *Berlyne D.E.* Conflict, arousal and curiosity // New York, McGraw-Hill, 1960. — 235 p.
13. *Yerkes R.M. and Dodson J.D.* The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation // Journal of Comparative Neurology of Psychology. — 1908. — **18**. — P. 459–482.
14. *Easterbrook J.A.* The effect of emotion on cue utilization and the organization of behavior // Psychological Review. — 1959. — **66**. — P. 183–201.
15. *Wachtel P.L.* Conceptions of broad and narrow attention // Psychological Bulletin, 1967. — **68**. — P. 417–429.
16. *Kellogg R.T.* Cognitive Psychology // SAGE Publications Inc., London. — 1997. — 268 p.

Поступила 15.09.2004