

Соотношение хранения и переработки информации в рабочей памяти

Б.Б. Величковский

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Поступила: 29 мая 2016 / Принята к публикации: 12 июня 2016

The correlation between storage and processing information in working memory

Boris B. Velichkovskiy

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Received: May 29, 2016 / Accepted for publication: June 12, 2016

Рабочая память (РП) представляет собой центральный конструкт многих современных когнитивных теорий. Ее определяющими функциями являются хранение и переработка информации. В статье рассматриваются перспективные направления исследований функций хранения и переработки информации в рабочей памяти. Показано, что их основное различие сводится к дихотомии независимости/зависимости хранения и переработки. В рамках концепции разделения единого ресурса и исследований эффектов порядка стимула и времени переработки предполагается, что хранение и переработка тесно связаны, и их функционирование основывается на разделении единого неспецифического ресурса. Направления, связанные с исследованием переключения когнитивных ресурсов и сопоставлением совместного и изолированного выполнения функций рабочей памяти, предполагают относительную независимость хранения и переработки. Отмечалось, что такое предположение требует представления о существовании специализированной инстанции – «диспетчера», осуществляющего оптимальное переключение ресурсов между хранением и переработкой с учетом ограничений текущего контекста. Также рассматривались результаты исследований корреляций эффективности хранения и переработки.

На основе анализа эмпирических подходов к изучению соотношения хранения и переработки информации делаются следующие выводы: в реализации функций хранения и переработки принимают участие неспецифические когнитивные ресурсы; функции хранения и переработки реализуются независимо друг от друга; взаимодействие функций хранения и переработки осуществляется опосредованно на основе оптимального переключения ресурсов посредством активности специализированного механизма.

Полученные результаты могут быть использованы для дополнения современных моделей РП и расширения представлений о реализации оперативного хранения и переработки.

Ключевые слова: рабочая память, хранение, переработка, разделение ресурсов, переключение ресурсов, внимание.

Working memory is a major construct in many modern cognitive theories. Defining functions of working memory are storage and processing. This paper provides a study of the problems of correspondence between these functions. It has been figured out that the main difference between these two functions is determined by the following dichotomy: independence/dependence of storage and processing. In the context of stimuli and time correlation studies, these two functions are closely related and based on sharing a common non-specific resource. Studies that analyze resource switching and also correlated and isolated functioning of working memory presuppose some independence between storage and processing. It has been mentioned that this assumption requires some specialized 'dispatcher', providing an optimal switching between storage and processing with respect to current contextual limits.

Empirical approaches to the study of storage-processing correspondence are analyzed. Based on this analysis, it is concluded that (1) storage and processing depend on unspecific cognitive resources, (2) storage and processing are realized independently from each other; and (3) storage and processing interact on the basis of the switching of resources via a specialized mechanism. The results can be used in the development of working memory models and for the extension of current ideas about the realization of operative storage and processing.

Keywords: working memory, storage, processing, resource sharing, resource switching, attention.

Рабочая память (РП) представляет собой систему когнитивных процессов, обеспечивающих оперативное хранение и переработку информации. Значение РП для познания можно продемонстрировать на примере вычислений «в уме». В этом случае ресурсы рабочей памяти привлекаются для хранения операндов, промежуточных и основных результатов, а также для применения арифметических операций к оперативно удерживаемым данным. Как система оперативного хранения и переработки информации РП занимает центральное место во многих современных теориях познания (Baddeley, 2012; Bargh, 2005; Белова, Малых, 2013). Это связано с тем, что фундаментальной основой когнитивных теорий является идея о психике как системе сбора и переработки информации и построения модели мира на этой основе (Найссер, 1981). Поэтому неудивительно, что рабочая память, предъявляющая «эксклюзивные права» на переработку информации человеком, претендует на роль системы, опосредующей познавательную деятельность.

Важная роль РП в реализации познавательной деятельности проявляется в наличии выраженных корреляций между ее индивидуальными характеристиками и эффективностью различных видов сложной деятельности. В частности, объем РП коррелирует с эффективностью обучения иностранным языкам и языкам программирования, с пониманием текстов, со способностью к умозаключениям и управлению сложными техническими системами (Engle & Kane, 2004). Эти эмпирические связи кульминируют при наличии сильных корреляций между объемом рабочей памяти и текучим интеллектом gF (Ackerman et al., 2005). До 50% дисперсии способности к решению новых, интеллектуально-сложных задач может быть объяснено индивидуальной изменчивостью

Рабочая память, понимаемая как кратковременная память, т.е. как система оперативного хранения без реализации функции переработки, неспособна играть центральную роль в обеспечении познавательной деятельности (на что претендует конструкт РП)

РП. Хотя эти связи носят корреляционный характер, их существование заставляет исследователей обращать пристальное внимание на рабочую память, ее механизмы и структуру.

Современные исследования РП долгое время испытывали влияние модели рабочей памяти А. Бэддели (Baddeley, 1986). Эта модель предполагает выделение в структуре РП подсистемы, ответственной за переработку информации, контроль оперативного хранения и контроль внимания (центральный исполнитель), а также ряд подсистем хранения информации (фонологическая петля, зрительно-пространственный блокнот, эпизодический буфер). На сегодняшний день существует несколько альтернативных моделей рабочей памяти, развивающих представления о роли процессов внимания в ней (Cowan, 1999), о дифференциации различных активационных состояний оперативно удерживаемой информации (Oberauer, 2009), а также о значении разделения ресурсов хранения и переработки в реализации ее функций (Barroillet & Camos, 2007). Все существующие модели РП сходятся в том, что ее функционирование основывается на совместной реализации функций хранения и переработки информации. В настоящей работе рассматриваются вопросы возможной организации такого взаимодействия.

Хранение и переработка в рабочей памяти

Совместная реализация функций хранения и переработки в РП являет-

ся основой ее определения (Daneman & Carpenter, 1980). Рабочая память, понимаемая как кратковременная память, т.е. как система оперативного хранения без реализации функции переработки, неспособна играть центральную роль в обеспечении познавательной деятельности (на что претендует конструкт РП). Это проявляется в наличии расхождения между эффектами индивидуальных характеристик кратковременной памяти и РП. Так, не обнаруживаются выраженные связи основного средства оценки объема кратковременной памяти – цифрового охвата (который используется, например, в шкале интеллекта Векслера) с общим интеллектом. Добавление к задаче удержания набора цифр задания переработки информации позволяет рассчитать показатели объема РП, выраженно коррелирующие с общим интеллектом (Величковский, 2014). Таким образом, совмещение хранения и переработки является конституирующим признаком рабочей памяти, как системы, опосредующей познавательную деятельность.

Можно выделить несколько направлений исследований, проблематизирующих взаимосвязь функций хранения и переработки в РП. Основная дихотомия, различающая эти подходы – это дихотомия зависимости/независимости хранения и переработки в РП. Первый вопрос: зависят ли хранение и переработка друг от друга или же они реализованы как независимые, изолированные функции? Если они зависят друг от друга, то второй вопрос: каков характер этой зависимости? Ниже будут рассмотрены сначала направления, трактующие хранение и переработку как взаимодействующие функции, затем направления, трактующие хранение и переработку как независимые функции. Потом будет рассмотрен эмпирический подход к проблеме зависимости/независимости хранения и переработки.

Первое направление рассматривает хранение и переработку как функции, взаимодействующие на основе разделения единого «когнитивного ресурса». В



Борис Борисович Величковский – кандидат психологических наук, доцент кафедры методологии психологии МГУ имени М.В. Ломоносова
E-mail: velitchk@mail.ru

Для цитирования: **Б.В. Величковский** Соотношение хранения и переработки информации в рабочей памяти // Национальный психологический журнал. – 2016. – № 2(22). – С. 18–27. doi: 10.11621/npsj.2016.0202

For citation: **Boris B. Velichkovskiy** The correlation between storage and processing information in working memory. (2016). *National Psychological Journal, [Natsional'nyy psikhologicheskii zhurnal]*, 2, 18–27. doi: 10.11621/npsj.2016.0202

ISSN 2079-6617 Print | 2309-9828 Online
© Lomonosov Moscow State University, 2016
© Russian Psychological Society, 2016

рамках этой концепции представляется, что один и тот же ограниченный ресурс должен выделяться для осуществления и хранения, и переработки. Очевидно, что в этом случае реализация одной функции приводит к затруднениям в реализации другой функции – обе функции выступают по отношению друг к другу в качестве «дополнительных задач». Увеличение объема хранения приводит к снижению эффективности переработки и наоборот. Такие представления развивались, например, в работе М. Daneman и Р. Carpenter, в которой впервые был реализован принцип совмещения функций хранения и переработки для создания теста на определение объема рабочей памяти (Daneman & Carpenter, 1980). Концепция разделения ресурсов, очевидно, перекликается с концепцией внимания как резервуара неспецифических когнитивных ресурсов Д. Канемана (2006) и разделяет с ней методологические проблемы операционального определения понятия ресурса.

Концепция разделения ресурсов получает эмпирическое подтверждение в рамках второго направления исследования, трактующего хранение и переработку как взаимодействующие функции рабочей памяти. Это направление заключается в изучении эффекта порядка стимула и эффекта времени переработки, обнаруживаемых при выполнении тестов на определение объема РП. Впервые эти эффекты были показаны в работе J. Towse с коллегами (Towse et al., 1998). Эффект порядка стимула состоит в том, что объем хранения в РП увеличивается, если продолжительность переработки в ходе выполнения теста снижается. Эффект времени переработки заключается в том, что скорость переработки снижается к ее концу.

Оба эффекта указывают на отрицательную корреляцию между функциональными возможностями хранения и переработки в рабочей памяти. Эффект порядка стимула может быть связан с тем, что, если в конце выполнения теста переработка занимает меньшее время, т.е. для нее требуется меньше ресурсов, то эти ресурсы могут быть выделены для удержания новых элементов информации в дополнение к тем, которые уже содержатся в РП. Таким образом, общий объем хранения в рабочей памяти будет увеличиваться. Эф-

фект времени переработки может быть связан с тем, что к концу выполнения теста увеличение количества удерживаемых в РП элементов приводит к выделению дополнительных ресурсов для хранения информации, что приводит к нехватке резервов для переработки и к снижению ее эффективности. Таким образом, оба эффекта объясняются с позиции разделения единого неспецифического ресурса между функциями хранения и переработки в РП. Обе функции в этом случае оказываются зависимыми друг от друга.

Альтернативное направление исследований исходит из признания независимости функций хранения и переработки (Towse & Hitch, 1995; Barrouillet & Camos, 2007). Его авторы предполагают, что необходимые для реализации этих функций ресурсы разделяются между ними на основе некоторого алгоритма их переключения. Например, при выполнении тестов на определение объема РП ресурсы направляются сначала на функцию хранения, затем переключаются на реализацию функции переработки, потом переключаются на реализацию функции хранения и так далее. Таким образом, в ходе выполнения задания не происходит разделение единого ресурса между хранением и переработкой в той или иной пропорции, а имеет место систематическое переключение ресурсов между ними. При этом возникает снижение объема хранения при интенсивной переработке, вследствие угасания активированной в рабочей памяти информации в то время, когда необходимы для ее реактивации ресурсы переключены на переработку. Очевидно, что при такой трактовке ресурсы РП понимаются как ресурсы внимания.

Ярким примером такого подхода является модель основанного на времени разделения ресурсов П. Барруилле (Barrouillet & Camos, 2007). Эта модель предполагает, что ресурсы рабочей памяти выделяются на реализацию функций хранения и переработки поочередно. При этом хранение обеспечивается ресурсами тогда, когда они не заняты обеспечением переработки. Если ресурсы переключены на переработку, хранящаяся в РП информация угасает. Когда ресурсы переключены на хранение, они могут быть использованы для реактива-

ции хранящихся в рабочей памяти элементов информации, препятствуя их угасанию. Эта концепция получила эмпирическое подтверждение в серии экспериментов, в которых использовались задания на определение объема РП, сочетающие хранение набора элементов и очень простую, высокоавтоматизированную задачу переработки. Казалось бы, такая задача переработки совершенно не требует когнитивных ресурсов и поэтому хранение не должно страдать от нехватки ресурсов (согласно модели разделения ресурсов). Такая картина действительно наблюдается, однако, только если задача переработки подается с невысокой скоростью. При высокой скорости подачи стимуляции в задаче переработки, объем хранения резко снижается. Эти результаты свидетельствуют о переключении ресурсов между хранением и переработкой в рамках определенных интервалов времени.

Еще одно направление в исследовании взаимодействия функций рабочей памяти – это сопоставление совместного и изолированного выполнения заданий на хранение и переработку. Это направление так же, как и предыдущее, читает хранение и переработку независимыми функциями РП. Например, S. Duff и R. Logie показали, что совмещение заданий на хранение и на переработку информации снижает эффективность их выполнения не более чем на 30%, по сравнению с их изолированным выполнением (Duff & Logie, 2001). При этом у большинства испытуемых вообще не наступало никакого снижения эффективности выполнения заданий при их совмещении. Возникающее же у части испытуемых снижение (интерференция двойной задачи) может быть объяснено трудностями координации их выполнения и возможной конкуренцией за разделяемые структурные ресурсы. В пользу этого также свидетельствует тот факт, что снижение сходства между заданием на хранение и заданием на переработку приводит к редукции снижения эффективности совместного выполнения заданий, по сравнению с их изолированным выполнением. Все эти эффекты говорят о том, что хранение и переработка являются независимыми функциями, а их взаимодействие носит опосредованный характер.

Последним, чисто эмпирическим и не отягощенным теоретическими предпочтениями направлением является изучение корреляционных взаимосвязей эффективности хранения и переработки информации в рабочей памяти. В целом ряде исследований этого направления были получены результаты, противоречащие гипотезе о разделении ресурсов между функциями хранения и переработки. Оказалось, что эффективность хранения коррелирует со скоростью переработки либо положительно (Barrouillet & Camos, 2007; Towse & Hitch, 1995), либо статистически незначимо (Waters & Caplan, 1996). Такой же результат был получен и относительно корреляций точности хранения с точностью переработки – они также могут быть либо положительными (Daneman & Tardiff, 1987; Shah & Miyake, 1996), либо незначимыми (Shah & Miyake, 1996; Turner & Engle, 1989). Эти данные представляют большой интерес, так как здесь предсказанная концепциями разделения ресурсов отрицательная корреляция эффективности хранения и переработки не наблюдается. Кроме того, интерес представляет положительная корреляция скорости и точности переработки, выводимая из этих данных. Любая модель взаимодействия хранения и переработки в РП должна будет объяснить эти противоречивые результаты.

Открытые вопросы соотношения хранения и переработки

Приведенные выше результаты не позволяют сделать однозначный вывод о механизмах взаимодействия функций хранения и переработки в рабочей памяти. С одной стороны, существуют концепции тесной взаимосвязи этих функций на основе механизма разделения единого ресурса. С другой стороны, существуют данные, говорящие о независимости функций хранения и переработки и опосредованности их взаимодействия. Также существуют эмпирические свидетельства в пользу того, что эффективность хранения и переработки в РП позитивно коррелируют между собой, т.е. представляют родст-

Приведенные результаты не позволяют сделать однозначный вывод о механизмах взаимодействия функций хранения и переработки в рабочей памяти. С одной стороны, существуют концепции тесной взаимосвязи этих функций на основе механизма разделения единого ресурса. С другой стороны, существуют данные, говорящие о независимости функций хранения и переработки и опосредованности их взаимодействия

венные или, даже, эмпирически неразличимые конструкты. Какая же из этих интерпретаций существующих данных является корректной?

Прежде чем попытаться ответить на этот вопрос, следует прояснить, в чем заключается суть эмпирических противоречий. Представляется, что в основе противоречивых позиций лежат две эмпирические оппозиции.

Во-первых, это противоречие между данными об эффектах порядка стимула и времени переработки (Towse et al., 1998; Maehara & Saito, 2007), с одной стороны, и данными о независимости функций хранения и переработки, с другой стороны (Barrouillet & Camos, 2007; Duff & Logie, 2001). Действительно, эффекты порядка стимула и времени переработки показывают, что хранение и переработка связаны негативной зависимостью, и что поэтому для их выполнения должен разделяться единый ресурс. Первый эффект заключается в том, что количество удерживаемых в компонентах хранения рабочей памяти элементов информации может быть большим, если первоначально выполняются продолжительные, а позднее – короткие задачи переработки. При обратной последовательности задач переработки становится сложнее (и даже невозможно) удерживать в РП большое количество элементов информации. Если предположить, что и переработка, и хранение требуют для своей реализации один и тот же ресурс, то эффект порядка стимула может получить следующую интерпретацию.

В начале выполнения теста рабочей памяти в компонентах хранения удерживается небольшое количество элементов. Их удержание требует небольшой доли ресурса, и оставшаяся часть обеспечивает выполнение затратной (продолжительной) задачи переработки. В конце выполнения теста в компонентах хранения удерживается большое количество элементов, удержание которых требует большой доли ресурса. Он

может быть выделен, так как незатратная (непродолжительная) задача переработки требует незначительной доли ресурса. Таким образом, взаимодействие хранения и переработки сводится к разделению единого ресурса между ними в какой-то пропорции (причем эффект порядка стимула предполагает также, что в случае превышения общего количества ресурса суммарными требованиями к нему ресурсное обеспечение переработки будет иметь приоритет над ресурсным обеспечением хранения). Наличие аналогичного механизма можно предположить и для объяснения эффекта времени переработки. В конце выполнения теста на определение объема РП в компонентах хранения удерживается большое количество элементов. Их удержание требует значительной доли разделяемого ресурса, и на выполнение задачи переработки может быть выделена только малая его доля. Поэтому задача переработки выполняется менее эффективно, т.е. менее быстро.

Концепция переключения ресурсов предполагает другое видение взаимодействия хранения и переработки в РП. Здесь тоже предполагается, что один и тот же ресурс обеспечивает реализацию обеих функций. Однако для реализации конкретной функции он должен быть задействован целиком. Поэтому возникает необходимость в механизме переключения, а также в гипотетическом компоненте – «диспетчере», который осуществляет это переключение. Например, в модели разделения ресурсов, основанного на времени, (Barrouillet & Camos, 2007) переключение осуществляется в соответствии с фиксированными отрезками времени, выделенными на выполнение задач хранения и переработки.

Во-вторых, в основе противоречивых данных о взаимодействии хранения и переработки лежит оппозиция результатов, свидетельствующих о негативной связи эффективности хранения и переработки (первые четыре исследовательских на-

правления) и результатов, говорящих об их позитивной/нулевой связи (последнее, «эмпирическое» исследовательское направление). Концепция разделения ресурсов, например, предполагает, что реализация функций хранения и переработки обеспечивается единым разделяемым ресурсом. Очевидно, что в этом случае концепция предсказывает антагонистические отношения между хранением и переработкой – выделение большего количества ресурса на реализацию одной функции и, следовательно, ее большая эффективность будут связаны с выделением меньшего количества ресурсов на выполнение другой функции и, соответственно, с ее меньшей эффективностью. Яркие примеры такой негативной связи представляют собой предполагаемые в рамках концепции разделения ресурсов (первое и второе исследовательские направления) механизмы возникновения эффектов порядка стимулов и времени переработки, описанные выше.

Концепция переключения ресурсов также, по крайней мере, на первый взгляд, предполагает антагонистические отношения между эффективностью реализации хранения и переработки. Это происходит, несмотря на то, что эта концепция постулирует независимость этих функций. При переключении ресурса на выполнение задачи переработки (эффективное ее выполнение), эффективность хранения страдает за счет угасания активированных в компонентах хранения элементов информации. Так становится возможной негативная связь между переработкой и хранением. Обратная ситуация, кстати говоря, наличествует необязательно – переключение ресурса на обеспечение хранения не обязательно снижает эффективность переработки, так как последняя просто не реализуется в этот момент.

Наиболее нейтральные теоретические предсказания дают результаты исследований совмещенного и изолированного выполнения заданий на хранение и переработку. Так как они предполагают независимость функций хранения и переработки, то их результаты совместимы с нулевыми корреляциями эффективности хранения и переработки, а опосредованно – через механизм координации совместного

выполнения и с позитивными корреляциями. Однако через механизм структурной интерференции результаты исследований совмещенного и изолированного выполнения заданий на хранение и переработку совместимы и с негативными корреляциями эффективности хранения и переработки. В целом, необходимо понять, какие механизмы рабочей памяти могут приводить к возникновению наблюдаемых позитивных/нулевых корреляций, несмотря на предполагаемую антагонистичность хранения и переработки информации в ней.

Имеющиеся эмпирические противоречия заставляют поднять ряд вопросов о реальном соотношении функций хранения и переработки. Это следующие вопросы:

1. Существует ли единый ресурс, обеспечивающий реализацию и функции хранения, и функции переработки?
2. Являются ли функции хранения и переработки независимыми или они связаны с действием единых механизмов?
3. Необходимо ли существование механизма переключения ресурса («диспетчеризация»)?
4. Как можно совместить данные о позитивной/нейтральной корреляции эффективности хранения и переработки с имеющимися теоретическими моделями РП?

Ответы на эти вопросы предполагают рассмотрение гипотетических механизмов рабочей памяти (в частности, выполнения заданий на определение ее объема), а также критического анализа современных моделей РП. Действительно, имеющиеся сегодня теоретические построения в области моделирования рабочей памяти отличаются достаточно большой степенью произвольности и концептуальной неясности. Это во многом объясняется тем, что для когнитивных моделей характерна апелляция к «интуитивно понятным» метафорам и схемам, за которыми часто скрывается отсутствие четко понимаемых механизмов реализации тех или иных когнитивных функций. Хотя такое положение дел понятно и даже продуктивно на начальных стадиях разработки определенной тематики, современное состояние исследований РП требует перехода к описа-

нию не метафор, а механизмов функционирования этой важнейшей подсистемы когнитивной сферы. Такие требования уже выражаются ведущими исследователями рабочей памяти (Oberauer, 2013).

Возникающие при анализе соотношения хранения и переработки в РП проблемы, безусловно, относятся к существенным проблемам изучения рабочей памяти. Это следует из конституирующего значения этих функций для самого понятия РП, как отмечалось выше. Центральной проблемой при этом является проблема возможной независимости функций хранения и переработки и их возможного антагонизма, а также попытки разрешить эти проблемы посредством привлечения понятия когнитивных ресурсов. Решение этих проблем представляет собой насущную необходимость для прогресса в области эмпирических исследований РП.

Схема соотношения хранения и переработки

Ниже будут рассмотрены возможные сегодня ответы на поднятые вопросы о соотношении хранения и переработки в рабочей памяти.

Существование единого ресурса.

Существование единого неспецифического ресурса, необходимого для выполнения различных когнитивных функций, является одной из наиболее устойчивых метафор когнитивной психологии (Navon, 1984). В контексте изучения РП свидетельства в пользу существования единого ресурса предоставляют факты снижения эффективности хранения и переработки при их совместном выполнении (по сравнению с изолированным). Об этом также свидетельствуют эмпирические эффекты антагонизма хранения и переработки, проявляющиеся в описанных выше эффектах порядка стимула и времени переработки. Существование единого ресурса предполагается и эмпирически достаточно хорошо обоснованной концепцией переключения ресурсов.

Следует отметить, что само фундаментальное различие функций хранения и переработки может оказаться необоснованным. При внимательном анали-

зе можно отметить, что только функция хранения носит базовый характер, а переработка является производной функцией. Например, при переработке требуется удерживать в оперативной памяти исходные данные и результаты переработки, т.е. переработка сама требует реализации функции оперативного хранения. Это очевидно в заданиях на определение объема РП, таких как охват операций (Turner & Engle, 1989). В них задача переработки включает в себя удержание нескольких цифр в дополнение к удержанию в рамках выполнения задачи на хранение набора букв. Поэтому реализацию функций хранения и переработки могут выполнять единые механизмы, что может трактоваться как действие «единого ресурса».

Интересно, что концепция разделения единого ресурса может быть согласована с прямо противоположными исходами расчета корреляций эффективности хранения и переработки. С одной стороны, она предсказывает отрицательные корреляции, так как выделение доли ресурса на реализацию одной функции уменьшает долю ресурса, доступную другой функции. С другой стороны, она совместима с положительными корреляциями, так как в этом случае за функциями хранения и переработки может угадываться действие единого фактора – единого ресурса. Низкая специфичность концепции разделения ресурсов по отношению к результатам корреляционных исследований взаимодействия хранения и переработки заставляет усомниться в ее прогностической силе.

Особенно проблематичными для концепции единого ресурса представляются результаты исследований о совместном и изолированном выполнении заданий на хранение и переработку. Наблюдающееся во многих случаях отсутствие снижения эффективности совместного исполнения функций хранения и переработки по сравнению с изолированным исполнением свидетельствует о том, что хранение и переработка не обязательно разделяют общий ресурс. Их взаимодействие, если оно существует, должно носить опосредованный характер. Например, оно может быть ограничено конкуренцией за

общие структурные ресурсы. В целом, следует отметить, что концепция разделения единого ресурса между функциями хранения и переработки не находит однозначного подтверждения, а подтверждающие ее эффекты могут быть связаны с частичным пересечением механизмов, реализующих процедуры измерения хранения и переработки.

Независимость хранения и переработки.

Являются ли хранение и переработка независимыми функциями? Положительно ответить на этот вопрос можно на основе результатов исследований в рамках концепции разделения ресурсов и сравнения совместного и изолированного исполнения функций хранения и переработки. Оба исследовательских направления предполагают, что хранение и переработка реализуются изолированно, не будучи связанными единым механизмом. Такая изоляция функций хранения и переработки представляется выигрышной в рамках доминирующей структурной модели рабочей памяти (Baddeley, 1986) и в контексте общих представлений о модулярности когнитивных функций (Fodor, 1983). Действительно, независимые функциональные компоненты в составе когнитивных систем обладают повышенной устойчивостью к ошибкам, сниженной интерференцией и изолированной модифицируемостью, что дает таким системам эволюционные преимущества. Теоретически, это делает изолированную организацию хранения и переработки более привлекательной.

Поддержку представлениям о независимости хранения и переработки в РП оказывает так называемая концентрическая модель рабочей памяти (Oberauer, 2009). В этой модели в составе РП выделяются компоненты с различным активационным уровнем содержащихся в них репрезентаций. В частности, различаются компоненты оперативного хранения (представляющие собой активированное подмножество репрезентаций долговременной памяти) и фокус внимания, в котором содержится актуально перерабатываемая репрезентация и который является локусом когнитивной переработки. Наши исследования (Ве-

личковский, Румянцев, Никонова, 2015), проведенные на основе метода аддитивных факторов С. Стернберга, указывают на относительную независимость компонентов оперативного хранения и фокуса внимания как компонента текущей переработки (эти компоненты оказываются чувствительными к действию различных экспериментально манипулируемых факторов). Аналогично, нами было показано (Величковский, 2014б), что при факторном анализе показателей эффективности выполнения различных заданий на РП выделяются независимые (т.е. некоррелирующие) факторы, связанные с фокусом внимания и компонентами оперативного хранения. Таким образом, наличествует известная степень независимости функций переработки и хранения в рабочей памяти.

Проблематичным для представления о независимости хранения и переработки являются эффекты порядка стимула и времени переработки. Действительно, эти эффекты могут трактоваться как свидетельствующие об обратной пропорциональной зависимости эффективности хранения и переработки, т.е. о тесной связи между этими функциями. Для этих эффектов, однако, характерно смешение понятий интенсивности и времени переработки (более длительная переработка рассматривается как более интенсивная, т.е. как требующая больших ресурсов). Однако понятие продолжительности переработки является также основным конструктом концепции переключения ресурсов. Рассматривая указанные эмпирические эффекты в рамках этой концепции, можно дать им и другую интерпретацию. Эффект порядка стимула возникает, потому что менее продолжительная переработка в конце теста позволяет реактивировать большое количество элементов в компоненте хранения. Эффект времени переработки возникает потому, что в конце теста необходимо чаще перенаправлять ресурсы интеллектуального внимания на реактивацию элементов. Их переключение на задачу переработки становится более дробным и ее выполнение замедляется.

Таким образом, эмпирические эффекты, трактуемые в пользу тесной зависимости хранения и переработки, могут

получить объяснение и в рамках концепции независимости этих функций. В целом, имеющиеся данные можно интерпретировать как говорящие о независимой реализации функций хранения и переработки, а их взаимодействие следует рассматривать как опосредованное специализированным механизмом переключения когнитивных ресурсов и разрешения структурных конфликтов. Такое предложение требует более детального рассмотрения этого гипотетического механизма.

Необходимость «диспетчеризации».

Представление об изолированной реализации функций хранения и переработки и переключении когнитивных ресурсов между ними требует постулирования в составе РП системы, контролирующей выделение ресурсов на основе определенных алгоритмов. Например, ресурсы могут переключаться между хранением и переработкой на основе схемы систематического чередования, если соответствующая стимуляция тоже подается чередующимся образом. Компонент, который выполняет такую координацию реализации функций хранения и переработки, должен иметь доступ к специализированным ресурсам, к оценке ресурсоемкости тех или иных заданий, к оценкам вероятности стимульных событий, к мотивационным переменным и многим другими факторам, определяющим оптимальные приоритеты в ресурсном обеспечении когнитивных функций.

Очевидно, что такие механизмы планирования и регуляции когнитивной деятельности свойственны префронтальным отделам коры (Лурия, 2003). Следует отметить, что в модели внимания как усилия Д. Канемана (Д. Канеман, 2006) – а при анализе проблемы выделения когнитивных ресурсов в РП речь идет, прежде всего, о ресурсах интеллектуального внимания (Cowan, 1999) – содержится компонент, реализующий подобные функции координации обеспечения внимательной переработки ресурсов на основе внутренних схем и мотивационных переменных. Можно предположить, что именно такой компонент должен быть добавлен в современные модели рабочей памяти. Следует отметить, что это соответствует тенденции к рассмотрению РП и внимания как тесно

связанных конструкторов, как, например, в концепции рабочей памяти как регулирующего внимания (Engle & Kane, 2004).

Объяснение корреляций.

Каким образом представления об ограниченной роли неспецифических ресурсов в реализации функций РП, независимости функций хранения и переработки, а также переключении ресурсов посредством координирующей инстанции могут быть согласованы с имеющимися данными о корреляциях показателей эффективности хранения и переработки?

Нулевые корреляции эффективности хранения и переработки хорошо согласуются с указанными граничными условиями структурной организации рабочей памяти. Действительно, отсутствие корреляций функциональных возможностей хранения и переработки может возникать как следствие их независимости друг от друга и опосредованности их взаимодействия механизмами разрешения динамической и структурной интерференции. При этом такие корреляции могут возникать в результате сочетания действия многих факторов, которые снижают степень согласованности в реализации обеих функций РП. В частности, такие факторы, как скорость предъявления стимуляции, иррелевантная интерференция и, что особенно важно, – семантика предъявляемого материала, могут оказывать существенное влияние на динамику реализации функций рабочей памяти. Поэтому обнаружение нулевых корреляций не противоречит идее

(опосредованного) взаимодействия хранения и переработки, но особенно хорошо согласуется с идеей их относительной независимости.

Обнаружение положительных корреляций эффективности хранения и переработки также хорошо согласуется с выявленными особенностями соотношения этих функций в рабочей памяти. Положительные корреляции обычно трактуются как результат действия общего фактора. В данном случае таким общим фактором, возможно, является действие механизма, регулирующего взаимодействие хранения и переработки («диспетчер»). Как отмечалось выше, такой механизм оптимизирует это взаимодействие на основе учета множества переменных, так что эффективность и хранения, и переработки становится оптимальной в имеющихся условиях. Эмпирически это приводит к появлению положительных корреляций при сохранении независимости обеих функций РП. В любом случае и сделанные выше предположения о структуре рабочей памяти, и факт отсутствия негативных корреляций эффективности хранения и переработки противоречат упрощенной идее о разделении единого когнитивного ресурса между этими функциями.

Проведенный анализ позволяет построить следующую схему взаимодействия хранения и переработки в РП (рис. 1). В рабочей памяти реализуются две независимые функции – хранение и переработка. Их реализация основывается на множестве механизмов удержания и трансформации информации – как общих, так

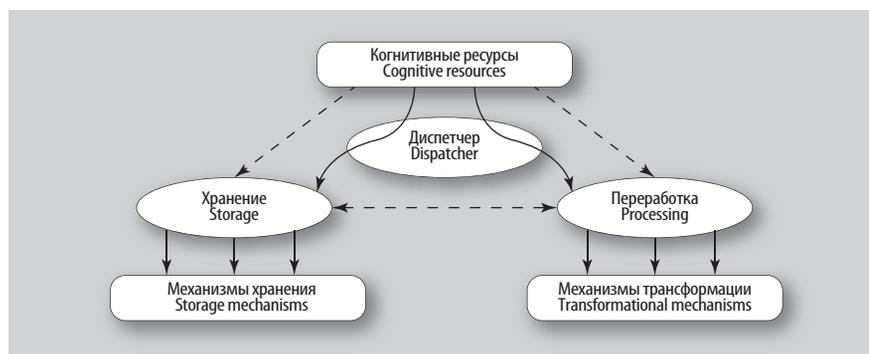


Рис. 1. Взаимодействие хранения и переработки в рабочей памяти на основе стратегии оптимального переключения ресурсов (сплошная линия – обязательные связи, прерывистая линия – опциональные связи).

Figure 1. Interaction between storage and processing in working memory based on the strategy of an optimal resource switching (unbroken line – mandatory links, broken line – optional links).

и модально-специфических. Для выполнения хранения и переработки необходимо выделить когнитивных ресурсов (например, для реактивации удерживаемой в РП информации). Ресурсы могут быть затребованы функциями хранения и переработки напрямую, а также опосредованно выделяться через специальную станцию – «диспетчер». Диспетчер осуществляет оптимальное переключение ресурсов между хранением и переработкой с учетом текущих условий, отражающихся в когнитивных и мотивационных переменных. Так возникает опосредованное взаимодействие данных функций РП, приводящее, например, к появлению положительных корреляций показателей их эффективности. Схема не исключает, что в случае конкретных тестов на определение функциональных возможностей рабочей памяти при реализации хранения и переработки могут использовать общие механизмы, что приводит к их более тесному эмпирическому взаимодействию.

Заключение

В статье рассматривался вопрос о соотношении двух конституирующих функций РП – хранения и переработки. Проанализированы основные направления исследований этого вопроса. Было показано, что их основное различие сводится к дихотомии независимости/зависимости хранения и переработки. В рамках концепции разделения единого ресурса и исследований эффектов порядка сти-

В рамках концепции разделения единого ресурса и исследований эффектов порядка стимула и времени переработки предполагается, что хранение и переработка тесно связаны, и их функционирование основывается на разделении единого неспецифического ресурса. Направления, связанные с исследованием переключения когнитивных ресурсов и сопоставлением совместного и изолированного выполнения функций рабочей памяти предполагают относительную независимость хранения и переработки

мула и времени переработки предполагается, что хранение и переработка тесно связаны, и их функционирование основывается на разделении единого неспецифического ресурса. Направления, связанные с исследованием переключения когнитивных ресурсов и сопоставлением совместного и изолированного выполнения функций рабочей памяти, предполагают относительную независимость хранения и переработки. Отмечалось, что такое предположение требует представления о существовании специализированной инстанции – «диспетчера», осуществляющего оптимальное переключение ресурсов между хранением и переработкой с учетом ограничений текущего контекста. Также рассматривались результаты исследований корреляций эффективности хранения и переработки. Отмечалось, что современные модели взаимодействия хранения и переработки должны объяснять результаты, получаемые в исследованиях, проходящих в их рамках.

В результате проведенного анализа было показано:

1) в реализации функций хранения и переработки принимают участие неспецифические когнитивные ресурсы;

2) функции хранения и переработки реализуются независимо друг от друга;

3) взаимодействие функций хранения и переработки осуществляется опосредованно на основе оптимального переключения ресурсов посредством активности специализированной инстанции.

Предложена схема взаимодействия хранения и переработки в РП. Сделанные выводы хорошо согласуются с результатами корреляционных исследований эффективности хранения и переработки, а также с результатами экспериментальных исследований переключений ресурсов при реализации функций рабочей памяти. Сделанные выводы также позволяют дать новую интерпретацию эффектов порядка стимула и времени переработке как поддерживающих концепцию переключения ресурсов. Полученные в настоящей работе результаты могут быть использованы для дополнения современных моделей РП и расширения представлений о реализации ее конституирующих функций – хранения и переработки.

*Исследование поддержано РГНФ,
грант № 16-06-00065.*

Литература:

- Белова А.П., Малых С.Б. Природа индивидуальных различий рабочей памяти // Теоретическая и экспериментальная психология. – 2013. – Т. 6. – С. 54–64.
- Величковский Б.Б. Тестирование рабочей памяти: от простого к сложному и снова к простому // Теоретическая и экспериментальная психология. – 2014 (а). – Т. 7. – № 2. – С. 133–142.
- Величковский Б.Б. Структура корреляционных зависимостей между показателями эффективности выполнения разных классов заданий на рабочую память // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. – 2014 (б). – № 4. – С. 18–32.
- Величковский Б.Б., Никонова Е.Ю., Румянцев М.А. Структура рабочей памяти: Эффекты увеличения количества информации, усложнения обработки и интерференции // Психологический журнал. – 2015. – Т. 36. – № 3. – С. 38–48.
- Канеман Д. Внимание и усилие. – Москва : Смысл, 2006.
- Лурия А.Р. Основы нейропсихологии. – Москва : Академия, 2003.
- Найссер У. Познание и реальность. – Москва : Прогресс, 1981.
- Ackerman, P.L., Beier, M.E., Boyle, M.O. (2005) Working memory and intelligence: the same or different constructs? *Psychological Bulletin*. 131, 30-60.
- Baars, J. (2005) Global workspace theory: Toward a cognitive neuroscience of human experience? *Progress in brain research*. 150, 45-55.
- Baddeley, A. (1986) *Working memory*. Oxford, Oxford University Press.

- Baddeley, A. (2012) Working memory: Theories, Models, and Controversies. *Annual Review of Psychology*. 63, 1-29.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2007) The time-based resource-sharing model of working memory. *The cognitive neuroscience of working memory*. Oxford: Oxford University Press. 59-80.
- Cowan, N. (1999) An embedded-processes model of working memory. *Models of Working Memory. Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge, Cambridge University Press. 62-101.
- Daneman, M., & Carpenter, P.A. (1980) Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*. 19, 450-466.
- Daneman, M., & Tardiff, T. (1987) Working memory and reading skill re-examined. *Attention and Performance*. NY, Erlbaum. 491-508.
- Duff, S., & Logie, R. (2001) Processing and storage in working memory span. *The quarterly journal of experimental psychology*. 2001. 54, 31-48.
- Engle, R., & Kane, M. (2004) Executive attention, working memory capacity, and a two-factor theory of cognitive control. *The psychology of learning and motivation*. NY, Academic Press. 145-199.
- Fodor, J. A. (1983) *Modularity of Mind: An Essay on Faculty Psychology*. Cambridge, Mass., MIT Press.
- Maehara, Y., Saito S. (2007) The relationship between storage and processing in [working memory span: not two sides of the same coin]. *Journal of Memory and Language*. 56, 212-228.
- Navon, D. (1984) Resources – a theoretical soupstone? *Psychological Review*. 91, 216-234.
- Oberauer, K. (2009) Interference between storage and processing in working memory: Feature overwriting, not similarity-based competition. *Memory & Cognition*. 37. 346-357.
- Oberauer, K. (2013) The focus of attention in working memory – from metaphors to mechanisms. *Frontiers in Human Neuroscience*. 7, 673.
- Pogozhina, I. N. (2015). Determination of cognitive development: postnonclassical theoretical model. *National Psychological Journal [Natsional'nyy psikhologicheskii zhurnal]*. 3 (19), 35-44.
- Shah, P., & Miyake, A. (1996) The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*. 125, 4-27.
- Towse, J. & Hitch, G. (1995) Is there a relationship between task demand and storage space in tests of working memory capacity? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 48, 108-124.
- Towse, J. Hitch, G., & Hutton, U. (1998) A reevaluation of working memory capacity in children. *Journal of Memory and Language*. 39, 195-217.
- Turner, M., & Engle, R. (1989) Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory & Language*. 1989. 28, 127-154.
- Waters, G., & Caplan, D. (1996) The measurement of verbal working memory capacity and its relation to reading comprehension. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 49, 51-79.

Resources:

- Ackerman, P.L., Beier, M.E., Boyle, M.O. (2005) Working memory and intelligence: the same or different constructs? *Psychological Bulletin*. 131, 30-60.
- Baars, J. (2005) Global workspace theory: Toward a cognitive neuroscience of human experience? *Progress in brain research*. 150, 45-55.
- Baddeley, A. (1986) *Working memory*. Oxford, Oxford University Press.
- Baddeley, A. (2012) Working memory: Theories, Models, and Controversies. *Annual Review of Psychology*. 63, 1-29.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2007) The time-based resource-sharing model of working memory. *The cognitive neuroscience of working memory*. Oxford: Oxford University Press. 59-80.
- Cowan, N. (1999) An embedded-processes model of working memory. *Models of Working Memory. Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge, Cambridge University Press. 62-101.
- Belova, A.P., & Malikh, S.B. (2013) The nature of individual differences in working memory. *Theoretical and Experimental Psychology [Teoreticheskaiya i eksperimental'naiya psikhologiya]*. 6, 54-64.
- Daneman, M., & Carpenter, P.A. (1980) Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*. 19, 450-466.
- Daneman, M., & Tardiff, T. (1987) Working memory and reading skill re-examined. *Attention and Performance*. NY, Erlbaum. 491-508.
- Duff, S., & Logie, R. (2001) Processing and storage in working memory span. *The quarterly journal of experimental psychology*. 2001. 54, 31-48.
- Engle, R., & Kane, M. (2004) Executive attention, working memory capacity, and a two-factor theory of cognitive control. *The psychology of learning and motivation*. NY, Academic Press. 145-199.
- Fodor, J. A. (1983) *Modularity of Mind: An Essay on Faculty Psychology*. Cambridge, Mass., MIT Press.
- Kaneman, D. (2006) *Attention and effort*. Moscow, Smisl.
- Luriya, A.R. (2003) *The basics of neuropsychology*. Moscow, Academia.
- Maehara, Y., Saito S. (2007) The relationship between storage and processing in working memory span: not two sides of the same coin. *Journal of Memory and Language*. 56, 212-228.
- Neisser, U. (1981) *Cognition and reality*. Moscow, Progress.
- Navon, D. (1984) Resources – a theoretical soupstone? *Psychological Review*. 91, 216-234.
- Oberauer, K. (2009) Interference between storage and processing in working memory: Feature overwriting, not similarity-based competition. *Memory & Cognition*. 37. 346-357.
- Oberauer, K. (2013) The focus of attention in working memory – from metaphors to mechanisms. *Frontiers in Human Neuroscience*. 7, 673.
- Pogozhina, I. N. (2015). Determination of cognitive development: postnonclassical theoretical model. *National Psychological Journal [Natsional'nyy psikhologicheskii zhurnal]*. 3 (19), 35-44.

- Shah, P., & Miyake, A. (1996) The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*. 125, 4-27.
- Towse, J. & Hitch, G. (1995) Is there a relationship between task demand and storage space in tests of working memory capacity? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 48, 108-124.
- Towse, J. Hitch, G., & Hutton, U. (1998) A reevaluation of working memory capacity in children. *Journal of Memory and Language*. 39, 195-217.
- Turner, M., & Engle, R. (1989) Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory & Language*. 1989. 28, 127-154.
- Waters, G., & Caplan, D. (1996) The measurement of verbal working memory capacity and its relation to reading comprehension. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 49, 51-79.
- Velichkovskiy, B.B. (2014) Correlative dependencies between the results of various tasks targeted at testing working memory. *Moscow University Journal. Psychology*. [Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 14. Psikhologiya]. 4, 18–32.
- Velichkovskiy, B.B. (2014) Working memory testing: from the easiest to the hardest and back to the easiest again. *Theoretical and Experimental Psychology* [Teoreticheskaiya i eksperimental'naiya psikhologiya]. 2, 133–142.
- Velichkovskiy, B.B., Nikonova E.Yu., Rumyantsev M.A. (2015) Working memory structure: the effects of data expansion, processing complication and interferences. *Psychological Journal* [Psikhologicheskij zhurnal]. 3, 38–48.