

# Додонов Ю.С. Общий интеллект и скорость опознавания количества



English version: [Dodonov Y.S. General intelligence and speed of enumeration](#)

Московский городской психолого-педагогический университет, Москва, Россия

[Сведения об авторе](#)

[Литература](#)

[Ссылка для цитирования](#)

Анализируется известная в когнитивной психологии закономерность возрастания времени опознавания количества с увеличением числа стимулов в предъявленном наборе. Исследуется взаимосвязь индивидуальных различий в траекториях возрастания с общим интеллектом испытуемых ( $N = 209$ ). Описываются экспериментальная задача «Количество точек», разработанная для изучения скорости опознавания количества; техника регистрации вербальной реакции испытуемых, использованная для фиксации индивидуальных показателей времени ответа. Демонстрируются различные методы анализа индивидуальных траекторий возрастания: нелинейный регрессионный анализ и структурное моделирование с фиксированными связями между манифестными и латентными переменными. Показано, что базовое время опознавания количества слабо отрицательно коррелирует с уровнем общего интеллекта, тогда как показатель интенсивности возрастания времени ответа с увеличением числа стимулов в наборе связан с общим интеллектом высоко отрицательно. В контексте обнаруженной взаимосвязи скорости опознавания количества и общего интеллекта обсуждаются перспективы изучения индивидуальных различий в скорости переработки информации о количестве.

**Ключевые слова:** интеллект, опознавание количества, скорость переработки информации, моделирование латентного роста, структурное моделирование

## Проблема опознавания количества

К настоящему моменту в когнитивной психологии накоплена существенная эмпирическая база исследований скорости и точности опознавания количества в различных экспериментальных условиях, дающая возможность обобщить имеющиеся результаты в виде некоторых общих закономерностей [Barth et al., 2003; Dehaene, 1997; Railo et al., 2008; Trick, Pylyshyn, 1994; Whalen et al., 1999]. Вместе с тем область индивидуальных различий в опознавании количества до сих пор остается практически неизученной, а соответствующие исследования еще только проходят период своего становления [Halberda et al., 2008; Holloway, Ansari, 2008; Kovas et al., 2010]. Тем не менее именно эмпирическое изучение индивидуальных различий в области переработки информации о количестве представляется наиболее перспективным как с точки зрения уточнения механизмов опознавания количества, так и с точки зрения поиска простейших предикторов общих способностей и успешности в обучении, в частности – математических достижений.

В данной работе представлено эмпирическое исследование, направленное на изучение как общих закономерностей опознавания количества, так и индивидуальной вариативности в переработке информации о количестве. При этом индивидуальные различия в опознавании количества изучались в их взаимосвязи с общим интеллектом как более сложной и высокоуровневой индивидуальной характеристикой. В данной работе не ставилось целью обсуждать различные подходы к концептуализации термина «интеллект»; оговорим лишь, что под общим интеллектом будет пониматься латентная индивидуальная характеристика, лежащая в основе успешности выполнения

различных когнитивных тестов – или «фактор g», как его принято называть после работы Ч.Спирмена [Spearman, 1927; Jensen, 1998a]. Существующие в психологии разногласия по данному вопросу – предмет дискуссий, выходящих за рамки настоящей публикации, поэтому мы будем придерживаться своего рода «унифицированного» определения, которое является наиболее устойчивым в современной мировой психологии.

Возвращаясь к проблеме опознавания количества, прежде всего отметим наличие возрастания времени ответа с увеличением количества предъявляемых стимулов [Akin, Chase, 1978; Jensen et al, 1950; Mandler, Shebo, 1982; Trick, Pylyshyn, 1994 и др.]. Наблюдаемое возрастание нелинейно, при этом время ответов изменяется несущественно при небольших количествах стимулов, но по мере увеличения числа стимулов в предъявляемом наборе рост времени ответа становится более стремительным и в целом функция зависимости совершенно определенно имеет положительную вторую производную.

При интерпретации этой закономерности традиционно в первую очередь подчеркиваются различия в механизмах переработки информации о количестве в случае маленьких и больших наборов стимулов. В англоязычной литературе эти различия традиционно описываются с помощью терминов *subitizing* (одномоментное восприятие количества) и *counting* (подсчет). Термин *subitizing* (впервые предложенный в работе [Kaufman et al, 1949]) используется для обозначения способности быстро и точно оценивать количество в том случае, если число элементов в наборе не превышает четырех-пяти. Обычно предполагается, что при одномоментном восприятии количества главным образом происходит обращение к базовой невербальной системе различения количества, традиционно называемой *number sense* (чувство количества) [Barth et al., 2006; Dehaene, 1997; Feigenson et al, 2004; Whalen et al, 1999]. В противоположность одномоментному определению количества определение точного количества элементов в больших наборах требует процесса пересчета, реализующегося с участием произвольного внимания и основанного преимущественно на обращении к вербальной числовой системе [Dehaene, Changeux, 1993; Sathian et al., 1999; Trick, Pylyshyn, 1994].

Однако очевидно, что такого рода грубое различие двух процессов, участвующих в переработке информации о количестве, существенно упрощает проблему. Так, одномоментное восприятие количества не объясняет монотонного возрастания времени ответов, наблюдаемого при предъявлении наборов, включающих до четырех стимулов.

Чтобы объяснить этот факт в теоретической модели, Л.Трик и З.Пылишин [Trick, Pylyshyn, 1994] предположили, что хотя опознавание количества в этом случае происходит одномоментно, генерация вербального ответа является при этом последовательной. Например, согласно этой модели, репрезентации чисел «один» и «два» должны быть предварительно активированы для того, чтобы активировалась репрезентация числа «три». Альтернативное объяснение возрастания времени ответов при небольших количествах стимулов может включать предположение о том, что одномоментное восприятие количества само по себе требует участия произвольного внимания [Railo et al, 2008]. В модели Г.Рэйло и коллег без участия произвольного внимания происходит только переработка отдельных признаков, тогда как их отбор и связывание требуют произвольных процессов, причем нагрузка на произвольные процессы логичным образом возрастает с увеличением количества элементов в наборе, что приводит к замедлению ответа.

С другой стороны, вопрос о возрастании времени ответа в опознавании небольшого количества стимулов представляется вполне логичным интерпретировать как увеличение сложности дифференциации близлежащих паттернов количества. Действительно, визуальные различия близлежащих паттернов уменьшаются с увеличением количества, что может являться детерминантой увеличения времени ответа для количества стимулов от одного до пяти. Кроме того, в случае относительно больших количеств элементов последовательный пересчет также может быть не единственным когнитивным процессом, участвующим в переработке информации о количестве. Помимо простого пересчета решение задачи может требовать группировки элементов и последующего суммирования, что предполагает также более высокую нагрузку на рабочую память.

Однако во всех перечисленных выше работах речь шла именно о понимании общих закономерностей переработки информации о количестве. Представляется вполне логичным предположение о том, что возрастание времени ответа с увеличением количества стимулов происходит неодинаково у всех

испытуемых. Теоретический интерес при этом представляют как минимум две самостоятельные проблемы.

Во-первых, для целого ряда закономерностей, сформулированных для усредненных групповых результатов, в литературе широко обсуждается проблема эффекта агрегирования данных [Anderson, Tweney, 1997; Anderson, 2001; Myung et al, 2000; см. также Hunt, 2007]. Другими словами, только анализ на уровне индивидуальных результатов может помочь избежать артефактов суммирования данных и ответить на вопрос о форме зависимости времени опознавания от количества стимулов в наборе.

Во-вторых, даже в случае единообразной формы зависимости логично предположить индивидуальные различия в параметрах функции возрастания времени ответа с усложнением задачи. Анализ такого рода индивидуальных различий может быть перспективным как с точки зрения понимания процессов переработки информации о количестве, так и с точки зрения поиска элементарных предикторов как общего интеллекта, так и специальных способностей (в частности, математических). Как было отмечено выше, работы в этой области еще только начинают появляться [Halberda et al, 2008; Holloway, Ansari, 2008; Kovas et al, 2010]. При этом организация эмпирического изучения опознавания количества сопряжена с определенными методическими трудностями, особенно в том случае, если речь идет об анализе скорости опознавания количества.

Первая сложность методического характера связана с регистрацией времени ответа испытуемых. Действительно, регистрация времени ответа при нажатии испытуемым клавиши клавиатуры, традиционная для современных исследований, существенно сужает круг возможных экспериментальных задач. Очевидно, например, что использование уже десяти различных клавиш для регистрации ответа в экспериментальной задаче определения количества если и было бы возможным (с точки зрения естественных возможностей испытуемых), то привело бы к существенным искажениям в зафиксированных значениях времени реакции. Возможным решением данной проблемы может быть модификация самой экспериментальной задачи определения количества (например, вместо инструкции «определить количество стимулов на экране» может быть использована инструкция «определить, соответствует ли количество стимулов на экране предъявленному числу»). Однако очевидно, что такого рода модификация экспериментальной задачи приводит к появлению дополнительных когнитивных процессов, необходимых для ответа, и, как следствие, к изменению времени ответа. Такие дополнительные процессы могут маскировать взаимосвязь между временем опознавания количества и величиной набора стимулов, являющуюся предметом основного интереса в данной обсуждаемой проблеме. Поэтому для целей настоящего эмпирического исследования был адаптирован альтернативный способ регистрации времени ответа испытуемых, основанный на фиксации вербальной реакции. Этот метод будет представлен подробнее при описании материалов эмпирического исследования.

Вторая трудность в изучении индивидуальных различий в скорости опознавания количества состоит в невозможности выбора единственного показателя для анализа. Изучение индивидуальных различий при решении скоростных задач традиционно в качестве индивидуального показателя предполагает использование простого среднего времени ответа (или любой другой меры центральной тенденции). Иногда в качестве дополнительной меры анализируется также стандартное отклонение в качестве меры индивидуальной вариативности. Однако очевидно, что все эти меры являются достаточными только в том случае, если все предъявления в задаче примерно уравниваются по сложности для испытуемых. Как отмечалось выше, задача определения количества коренным образом отличается от такого рода экспериментальных задач, поскольку заведомо включает предъявления различной сложности (различное количество стимулов). Полноценный анализ индивидуальных различий при решении этой задачи неизбежным образом должен включать именно описание индивидуальных траекторий возрастания времени ответа с усложнением задачи.

Такого рода анализ крайне редко используется в психологии. В качестве одного из немногих исключений можно назвать анализ времени реакции выбора. В рамках этой исследовательской традиции, начавшейся с работы У.Хика [Hick, 1952], время реакции анализируется в качестве линейной функции от количества информации (бинарного логарифма количества возможных выборов в скоростной задаче, известной как задача Хика). Регрессионный анализ данных каждого испытуемого в отдельности позволяет получить два индивидуальных параметра для дальнейшего

анализа: интерцепт (свободный член уравнения регрессии) и наклон функции возрастания. При этом интерцепт рассматривается в качестве параметра, отражающего преимущественно время сенсомоторных процессов, тогда как наклон функции интерпретируется как параметр, отражающий собственно время когнитивных процессов [Jensen, 1987; Neubauer et al., 1997]. Таким образом, в исследованиях в парадигме Хика традиционно предполагается, что именно индивидуальный показатель наклона функции связан с уровнем общего интеллекта [Roth, 1964; Eysenck, 1967].

Следует отметить, однако, что эмпирические результаты, получаемые в этой парадигме, достаточно противоречивы: сообщается как об обнаруженной негативной корреляции между общим интеллектом и наклоном функции времени ответа [Neubauer et al., 1997; Rammsayer, Brandler, 2007], так и об отсутствии эмпирической взаимосвязи [Beauducel, Brocke, 1993]. В задачи данной работы, безусловно, не входит обсуждение методических сложностей, связанных с анализом наклона функции Хика (такого рода обсуждение может быть найдено, например, в работе А.Дженсена [Jensen, 1998b]). Для нас представляет интерес сам принцип анализа времени ответа, при котором учитывается именно изменение времени ответа по мере усложнения задачи, а также теоретический интерес к оценке возрастания времени реакции как наиболее значимому параметру, описывающему индивидуальные различия в обсуждаемой парадигме.

Регрессионный анализ индивидуальных результатов каждого испытуемого является, безусловно, трудоемкой процедурой и вряд ли может быть в полной мере реализован в эмпирических исследованиях с большими объемами выборки. Вместе с тем современные математические средства анализа данных позволяют решить данную проблему другим способом.

## Гипотезы исследования

В данной работе показано, как для анализа возрастания времени опознавания количества с увеличением числа стимулов в наборе может быть использовано структурно-линейное моделирование с фиксированными связями между манифестными и латентными переменными. Этот метод анализа позволяет оценивать на латентном уровне как компонент базовой скорости решения задачи, так и компонент возрастания времени ответа с усложнением задачи (подробнее принципы такого моделирования описаны ниже при спецификации модели). Кроме того, чтобы обеспечить возможность сравнения двух методов, в данной работе используется также и нелинейный регрессионный анализ индивидуальных результатов каждого испытуемого с последующим оцениванием параметров возрастания времени ответа. Наконец, индивидуальные параметры возрастания времени опознавания количества с увеличением числа стимулов в наборе изучаются во взаимосвязи с уровнем общего интеллекта испытуемых.

Основные гипотезы представленного исследования можно сформулировать в виде трех пунктов.

1. Возрастание времени опознавания количества с увеличением числа стимулов в наборе может быть описано с помощью единообразной функции для большинства индивидуальных результатов. Иными словами, общая закономерность возрастания времени ответа выполняется для результатов отдельных испытуемых.
2. Существуют индивидуальные различия в форме функции возрастания времени опознавания количества. Испытуемые различаются не только в индивидуальной базовой скорости опознавания количества, но и в интенсивности прироста времени ответа с усложнением задачи (более специфично – в наклоне и кривизне индивидуальной траектории возрастания времени ответа).
3. Перечисленные скоростные параметры связаны с уровнем общего интеллекта испытуемых. Ожидается, что испытуемые с более высоким интеллектом будут демонстрировать более высокую базовую скорость опознавания количества. Что более существенно, предполагается, что времена ответов будут возрастать более интенсивно с усложнением задачи у испытуемых с более низким уровнем интеллекта, чем у испытуемых с более высоким уровнем интеллекта.

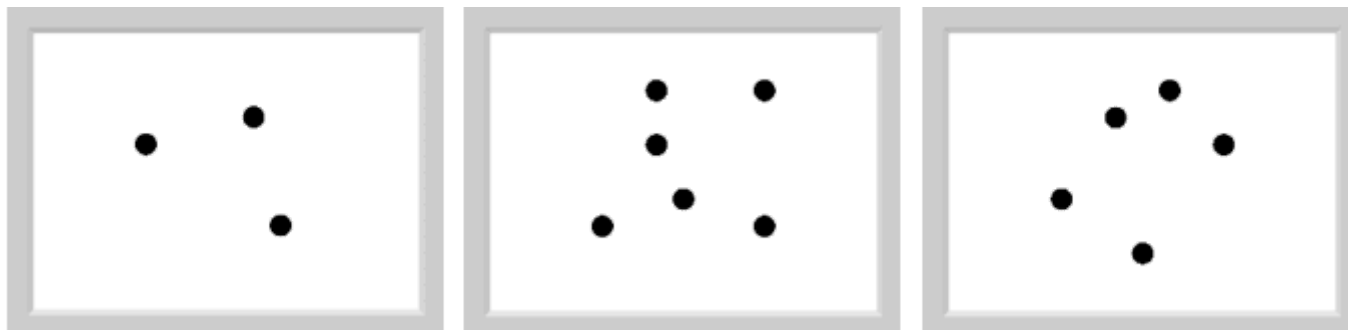
# Методы

## Материалы

В качестве основной задачи в данном исследовании использовался разработанный тест «Количество точек». На экране монитора предъявлялось различное количество стимулов (точек). Задача испытуемых состояла в том, чтобы как можно быстрее определить, сколько точек появилось на экране.

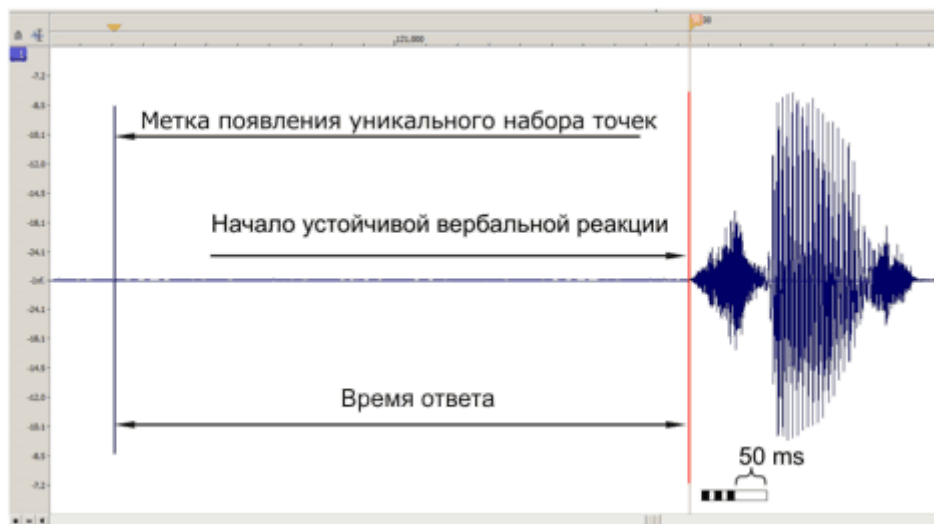
Стимульный материал для данной задачи был организован в виде специального видеофайла. Перед появлением каждого набора точек в центре экрана предъявлялась короткая линия, плавно уменьшающаяся в длине. Время экспозиции линии составляло 800 мс, после ее исчезновения на экране появлялся тестовый набор точек. Возможное количество точек в наборе варьировало от двух до десяти, каждое количество точек предъявлялось пять раз. Таким образом, задача в общей сложности включала 45 предъявлений. Продолжительность предъявления каждой группы точек в видеофайле была установлена таким образом, чтобы время экспозиции было достаточным для ответа (на основании предварительных тестирований – не менее величины среднего времени ответа плюс два стандартных отклонения). Время экспозиции для двух и трех точек составляло 800 мс, для четырех точек – 1000 мс, для пяти точек – 1200 мс, для шести точек – 1600 мс, для семи точек – 2200 мс, для восьми точек – 2800 мс, для девяти точек – 3600 мс, для десяти точек – 4400 мс. Общая продолжительность видеофайла составляла 3 мин. 10 с.

В каждом предъявлении точки были расположены в случайном порядке внутри воображаемого квадрата 100 × 100 мм. Взаимное расположение точек в каждом случае было уникальным и не повторялось даже для групп с одинаковым количеством точек. Примеры наборов точек, использованных в качестве стимульного материала, приведены на рисунке 1.



**Рис. 1.** Примеры наборов точек, использованных в качестве стимульного материала в задаче «Количество точек».

В процессе тестирования регистрировался вербальный ответ испытуемых. Все испытуемые получали инструкцию произносить свой ответ вслух. Для фиксации ответа использовалась профессиональная программа аудиозаписи Sound Forge 9.0. Запись звука запускалась экспериментатором в начале тестирования и производилась в фоновом режиме во время предъявления видеофайла со стимульным материалом. Видеофайл содержал специальные звуковые метки, не слышные для испытуемого, однако фиксирувавшиеся на аудиозаписи и позволявшие впоследствии четко идентифицировать время предъявления очередного набора стимулов. Для извлечения информации о времени ответа испытуемых использовалась графическая репрезентация звуковой волны. На рисунке 2 приведен пример звуковой волны для ответа «шесть»: четко видна звуковая метка, маркирующая появление точек, легко идентифицируется момент начала устойчивой вербальной реакции. Время между этими двумя событиями рассматривалось в качестве времени ответа. После предварительной идентификации всех событий на аудиозаписи необходимое время ответов автоматически подсчитывалось и экспортировалось в файл данных.



**Рис. 2.** Извлечение информации о времени ответа испытуемого с использованием графической репрезентации звуковой волны.

Для тестирования общего интеллекта использовались субтесты теста структуры интеллекта Амтхауэра (Amthauer Intelligenz-Struktur-Test – IST) [Туник, 2009]: «Логический отбор», «Определение общих черт», «Аналогии», «Классификация», «Счет», «Числовые ряды», «Выбор фигур» и «Кубики» (восемь из девяти субтестов полной версии теста, исключенный субтест - «Запоминание слов»). В структурном моделировании для оценивания общего интеллекта на латентном уровне в качестве манифестных переменных использовались сырые баллы по каждому из субтестов в отдельности. Для корреляционного анализа тестовый балл общего интеллекта подсчитывался как факторный балл по первому фактору, извлеченному методом главных компонент.

## Испытуемые

В исследовании приняло участие 209 испытуемых, все – студенты высших учебных заведений различных специальностей. Возраст испытуемых  $19,44 \pm 1,30$  лет, 30% – мужского пола.

## Результаты и их обсуждение

### Анализ возрастания времени ответа с увеличением количества точек

При анализе времени ответа в задаче «Количество точек» каждое количество точек рассматривалось в качестве самостоятельного уровня сложности. Анализировалось только время правильных ответов. Для каждого испытуемого подсчитывалось время ответа для каждого из уровней сложности в отдельности. Время опознавания десяти точек не учитывалось в дальнейшем анализе, поскольку в случае наибольшего количества точек ответ зачастую давался значительно быстрее, чем в случае других наборов с меньшим количеством точек. Иными словами, в ходе тестирования многие испытуемые понимали, что наибольший из возможных наборов включает десять элементов, что приводило к существенному ускорению ответов (данный эффект воспроизводился в предварительных тестированиях для любого максимального набора точек, вне зависимости от их количества). Таким образом, исключение из анализа набора с наибольшим количеством точек позволило избежать смещений при оценивании параметров возрастания времени ответа с усложнением задачи.

Среднее время ответа и соответствующее стандартное отклонение для данной выборки составили:  $513 \pm 63$  мс для двух точек,  $617 \pm 84$  мс для трех точек,  $719 \pm 121$  мс для четырех точек,  $1107 \pm 182$  мс для пяти точек,  $1452 \pm 267$  мс для шести точек,  $1755 \pm 344$  мс для семи точек,  $2134 \pm 386$  мс для

восьми точек,  $2379 \pm 459$  мс для девяти точек. Таким образом, в целом по группе среднее время ответов возрастало с увеличением количества точек. Логичным образом увеличивалась также и групповая вариативность в скорости ответов.

Однако, как уже говорилось выше, закономерности, обнаруженные на усредненных результатах, зачастую могут оказываться артефактом агрегирования данных и не отражать реальных тенденций, проявляющихся на индивидуальном уровне. Основным же предметом внимания в представленной работе были индивидуальные различия, поэтому в дальнейшем исследовании не осуществлялась работа с усредненными результатами; напротив, времена ответов каждого испытуемого в отдельности рассматривались в качестве самостоятельного набора данных.

Следующий шаг анализа требовал выбора функции, наиболее предпочтительной для описания возрастания времени ответа с увеличением количества точек. В проведенном исследовании выбор функции не был предопределен теоретически (как, например, в работе Хика [Hick, 1952], опиравшегося на известную формулу Шеннона [Shannon, 1948]). В этой связи было проанализировано несколько функций с точки зрения их соответствия экспериментальным данным. Уже на основании грубой предварительной оценки данных функции с отрицательной второй производной были исключены из анализа. Таким образом, в дальнейшей работе использовались три функции:

- 1) линейная функция:  $RT = ax + b$ ;
- 2) экспоненциальная функция:  $RT = ar^x + b$ ;
- 3) степенная функция:  $RT = ax^k + b$ .

Для каждого испытуемого время ответов было аппроксимировано всеми перечисленными функциями. В качестве профессионального приложения для такого рода анализа данных использовалась программа QtiPlot v.0.9.7.14. Для аппроксимации был выбран алгоритм Левенберга–Макуардта (Scaled Levenberg-Marquardt algorithm), использовалось взвешивание данных. В качестве меры соответствия нелинейной регрессионной модели экспериментальным данным на этом этапе анализа использовался показатель  $R^2$ .

Для всех испытуемых из анализируемой выборки линейная функция описывала экспериментальные данные хуже, чем экспоненциальная и степенная. Экспоненциальная функция оказалась предпочтительнее (незначительно) степенной функции только для 19 участников (9,1% общей выборки). Показатели соответствия степенной функции экспериментальным данным были в целом достаточно высокими – средняя величина  $R^2$  в анализируемой выборке оставила  $0,981 \pm 0,012$ .

Таким образом, на основании сравнительного анализа для дальнейшего анализа динамики времени ответов в тесте «Количество точек» была выбрана степенная функция. В контексте данного исследования преимущество использования единой функции при аппроксимации индивидуальных результатов состояло главным образом в возможности оценивания и последующего сопоставления единообразных параметров, характеризующих индивидуальные траектории возрастания времени ответов с усложнением задачи.

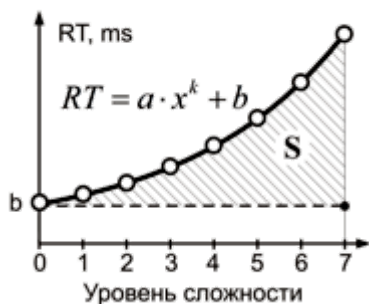
В случае степенной закономерности форма функции задается тремя основными параметрами: интерцептом  $b$ , коэффициентом  $a$  и показателем степени  $k$ . Значения этих параметров оценивались для каждого из испытуемых в отдельности.

Выше уже говорилось о том, что при анализе изменения времени ответа с усложнением задачи наибольший интерес могут представлять две основные характеристики, а именно оценки базовой скорости решения задачи и собственно возрастания времени ответа. Среди перечисленных параметров степенной функции параметр  $b$  рассматривался в дальнейшем в качестве параметра, прямо репрезентирующего базовую скорость опознавания количества на простейших уровнях сложности. При этом ни один из перечисленных параметров степенной функции не позволял получить обобщенную единую оценку возрастания времени ответа с увеличением количества. Действительно, в случае степенной функции возрастание времени ответа с увеличением количества описывалось не одним, а одновременно двумя параметрами: параметром  $a$ , детерминирующим наклон функции, и параметром  $k$ , определяющим ее кривизну. Для того чтобы получить обобщенную

оценку индивидуального возрастания времени ответа, в дополнение к перечисленным параметрам был подсчитан еще один показатель с использованием формулы:

$$S = \int_0^{n-1} (a \cdot x^k) dx,$$

где  $n$  – количество уровней сложности (начальный уровень сложности рассматривался в данном исследовании в качестве нулевого, уровень с наибольшей сложностью, соответственно, как  $n - 1$ ). Содержательный смысл параметра  $S$  понятен из рисунка 3.



**Рис. 3.** Аппроксимация индивидуальных результатов и подсчет интегрального параметра  $S$ .

Описательные статистики для индивидуальных параметров аппроксимации, корреляции между параметрами, а также их корреляции с факторным баллом общего интеллекта приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

Описательные статистики и корреляционный анализ индивидуальных параметров аппроксимации

Параметр	Описательные статистики, мс		Корреляции между параметрами			Корреляции с баллом общего интеллекта
	Среднее	Стандартное отклонение	k	b	S	
a	98,95	39,53	-0,836 (0,000)	-0,037 (0,591)	0,485 (0,000)	-0,452* (0,000)
k	1,574	0,243		0,142 (0,040)	-0,002 (0,974)	-0,402** (0,000)
b	501,59	59,80			0,087 (0,212)	-0,150 (0,031)
S	5418,02	1083,67				-0,520 (0,000)

Приведены коэффициенты корреляции Пирсона; во второй строке в скобках указано точное значение уровня значимости. Обозначения: \* – коэффициент парциальной корреляции, при контроле параметра  $k$ ; \*\* – коэффициент парциальной корреляции, при контроле параметра  $a$ .

При анализе взаимосвязей между параметрами аппроксимации необходимо отметить два основных момента.

Во-первых, интерцепт  $b$  оказался не связанным с интегральным показателем  $S$  (наблюдаемая слабая положительная взаимосвязь статистически недостоверна). На основании полученных результатов можно говорить, что базовая скорость опознавания количества и скорость замедления ответа с



увеличением количества могут рассматриваться в качестве двух относительно самостоятельных индивидуальных показателей, отражающих индивидуальные особенности переработки информации о количестве.

Во-вторых, показатели, определяющие наклон и кривизну траектории возрастания времени ответа, оказались статистически достоверно отрицательно взаимосвязанными. Такого рода отрицательная взаимосвязь вполне предсказуема при описании экспериментальных данных с помощью степенной функции. Действительно, поскольку большинство времен ответов лежит в разумном интервале до нескольких секунд, индивидуальная траектория возрастания не может одновременно иметь высокий наклон и высокую кривизну (иначе теоретически предсказываемые значения стремились бы к бесконечности). С другой стороны, одновременно низкие значения параметров  $a$  и  $k$  (в данном исследовании речь идет, конечно, о величине  $k > 1$ ) описывали бы ситуацию отсутствия возрастания времени ответа с увеличением количества, что также неправдоподобно для данной экспериментальной задачи. Такого рода эмпирическую взаимосвязь между показателями наклона и кривизны, безусловно, необходимо учитывать при анализе корреляций этих показателей с внешними переменными, в нашем случае – с баллом общего интеллекта. Поскольку в корреляционном анализе интерес представляет именно собственная дисперсия параметров  $a$  и  $k$ , а не их общая дисперсия, при оценке взаимосвязи каждого из параметров с факторным баллом общего интеллекта рассчитывались коэффициенты парциальной корреляции, при контроле другого параметра. В таблице 1 приведены именно коэффициенты парциальной корреляции для этих двух параметров.

Как видно из таблицы 1, паттерн корреляций индивидуальных параметров аппроксимации с баллом общего интеллекта в целом соответствует теоретическим ожиданиям и подтверждает гипотезы, сформулированные выше. Параметр  $b$  достоверно слабо отрицательно связан с баллом общего интеллекта. Между параметром  $S$  и баллом общего интеллекта обнаружена высокая отрицательная взаимосвязь. Каждый из двух параметров, определяющих траекторию возрастания времени ответа, достоверно отрицательно связан с баллом общего интеллекта при контроле другого параметра, хотя величина коэффициентов корреляции несколько ниже, чем для интегрального показателя  $S$ .

Таким образом, общая тенденция позволяет говорить о том, что испытуемые с более высоким показателем общего интеллекта в целом демонстрируют более высокую базовую скорость в задаче определения количества. Однако, по-видимому, при опознавании количества наибольшие различия между испытуемыми с различным уровнем интеллекта проявляются именно в скорости прироста времени ответа с усложнением задачи. У испытуемых с более высоким общим интеллектом время ответов возрастает менее интенсивно, чем у испытуемых с более низкими показателями общего интеллекта.

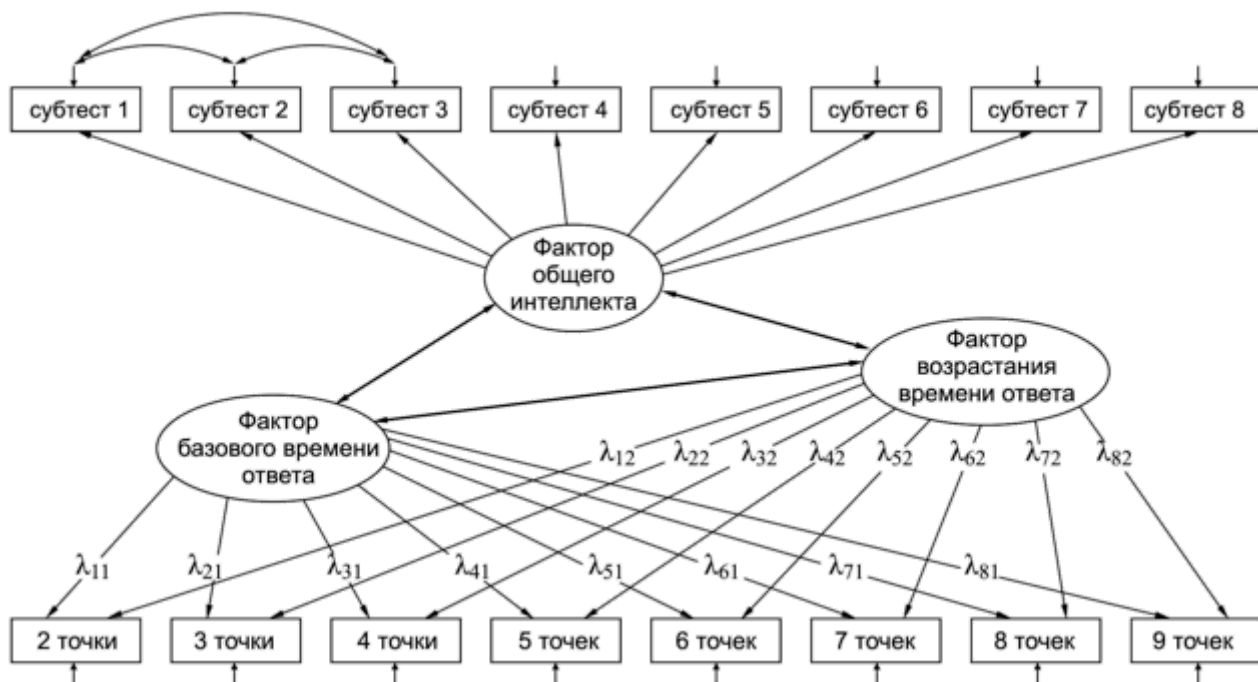
## Моделирование возрастания времени ответа на латентном уровне

В предыдущем разделе индивидуальные параметры возрастания времени ответа с увеличением количества точек оценивались путем нелинейного регрессионного анализа результатов каждого испытуемого в отдельности. Такой способ работы с экспериментальными данными является традиционным, например, для исследований в парадигме Хика, упоминавшихся выше (с той оговоркой, что в случае задачи Хика используется линейная регрессия с предварительной логарифмической трансформацией шкалы  $x$ ). Поскольку такой способ анализа до недавнего времени являлся конвенциональным, он был приведен и в настоящей работе. Однако ниже будет показано, как сходные задачи анализа экспериментальных данных могут решаться с помощью более современных математических методов, а именно с помощью структурного моделирования с фиксированными нагрузками между манифестными и латентными переменными.

Строго говоря, такого рода моделирование на сегодняшний день получило наиболее широкое применение в контексте психологии развития. Действительно, структурное моделирование латентных кривых роста позволяет решать задачу изучения динамики той или иной характеристики во времени; в качестве манифестных переменных в такого рода моделях выступают результаты измерения

анализируемой характеристики, полученные через определенные временные интервалы. Однако очевидно, что сама методология моделирования изменений на латентном уровне ни в коей мере не ограничивает сферу его использования исключительно контекстом развития. К.Швайцер [Schweizer, 2006a] был одним из первых авторов, кто обратил особое внимание на возможность более широкого применения моделей латентного роста, в том числе и при сопоставлении показателей успешности решения задач в различных экспериментальных условиях. К.Швайцер предложил также и более общий термин для такого рода моделей – «модели с фиксированными связями» (fixed-links models; объяснение выбора именно этого термина, а также обзор возможностей применения моделей этой группы могут быть найдены, например, в работе [Schweizer, 2006b]). В задачи настоящей статьи не входит подробное описание методологии такого рода моделирования, однако некоторые основные принципы будут приведены для понимания логики дальнейшего анализа экспериментальных данных.

Итак, основное отличие моделей с фиксированными связями от традиционных структурных моделей состоит в том, что все нагрузки между манифестными и латентными переменными априорно задаются, а не оцениваются свободно. Это позволяет, в частности, декомпозировать истинную дисперсию манифестных переменных на некоторое количество компонентов, избежав при этом проблем недоопределенности модели. В случае моделирования латентного роста один из компонентов может репрезентировать некоторый базовый уровень, а другой компонент (или несколько других компонентов) – отражать собственно изменение анализируемой характеристики. Применительно к задаче «Количество точек» именно компоненты (1) базовой скорости опознавания количества и (2) возрастания времени ответа с увеличением количества представляли наибольший теоретический интерес. Кроме того, изучалась взаимосвязь между этими компонентами и общим интеллектом, оцененным на латентном уровне. Структурная модель приведена на рисунке 4. Описание спецификации модели приведено ниже.



**Рис. 4.** Анализ возрастания времени ответа с увеличением количества на латентном уровне.

Итак, в качестве манифестных переменных в модели выступало время ответов для каждого количества точек. Чтобы задать фактор базовой скорости опознавания количества, все нагрузки между этим фактором и манифестными переменными были приравнены к величине «1». Нагрузки второй латентной переменной – фактора возрастания времени ответа с усложнением задачи – должны были быть зафиксированы в соответствии с предполагаемой формой функции возрастания. Сравнение нескольких функций, реализованное в предыдущем разделе, позволило выбрать степенную функцию в качестве наиболее предпочтительной для описания полученных

экспериментальных данных. Таким образом, нагрузки для латентной переменной возрастания времени ответа были рассчитаны в соответствии с формулой степенной функции (по усредненным данным), начиная с «0» для первой манифестной переменной (как и в предыдущем разделе, в моделировании полагалось, что вся истинная дисперсия времени опознавания двух точек объяснялась фактором базовой скорости опознавания количества). Наконец, подсчитанные таким образом нагрузки были стандартизированы в соответствии с алгоритмом факторно-специфической стандартизации, предложенным К.Швайцером [Schweizer, 2010]. Таким образом, итоговая матрица связей между манифестными и латентными переменными выглядела следующим образом:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} \\ \lambda_{31} & \lambda_{32} \\ \lambda_{41} & \lambda_{42} \\ \lambda_{51} & \lambda_{52} \\ \lambda_{61} & \lambda_{62} \\ \lambda_{71} & \lambda_{72} \\ \lambda_{81} & \lambda_{82} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0,000 \\ 1 & 0,092 \\ 1 & 0,262 \\ 1 & 0,485 \\ 1 & 0,751 \\ 1 & 1,054 \\ 1 & 1,389 \\ 1 & 1,756 \end{bmatrix}.$$

Традиционно для моделирования с фиксированными нагрузками дисперсия латентных переменных свободно оценивалась. Более того, цель осуществленной стандартизации факторных нагрузок состояла в том, чтобы получить возможность последующего непосредственного сопоставления оцененных величин дисперсии двух латентных компонентов.

Наконец, в модель был включен латентный фактор общего интеллекта. Для его извлечения в качестве манифестных переменных использовались баллы, полученные по субтестам теста Амтхауэра. Все нагрузки между манифестными переменными и латентной переменной свободно оценивались. На основании предварительного моделирования были допущены корреляционные связи между остаточными членами первых трех субтестов. Дисперсия латентной переменной общего интеллекта была зафиксирована равной «1». Корреляции между латентным фактором общего интеллекта, латентным фактором базового времени ответа и латентным фактором возрастания времени ответа оценивались в качестве свободных параметров модели.

Для оценивания модели использовалась программа Amos 18. В качестве индексов соответствия модели эмпирическим данным анализировались  $\chi^2/df$  (отношение величины  $\chi^2$  к числу степеней свободы), CFI (Comparative Fit Index) и RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation).

Модель в целом хорошо описывала данные:  $\chi^2(104) = 192,45$ ;  $\chi^2/df = 1,85$ ; CFI = 0,929; RMSEA = 0,064. Оцененная величина дисперсии латентного фактора базового времени ответа составила 3027,53 ( $p = 0,000$ ). Что более важно для моделирования латентного роста, величина дисперсии латентного фактора возрастания времени ответа оказалась существенно большей и также значимой и составила 43041,44 ( $p = 0,000$ ).

Два латентных компонента времени ответа в задаче «Количество точек» оказались слабо положительно связанными, со стандартизированным коэффициентом корреляции 0,173 ( $p = 0,047$ ). Другими словами, у испытуемых с большими базовыми временами опознавания количества прирост времени ответа с усложнением задачи в целом происходит более интенсивно, чем у более быстрых в целом испытуемых. Подобного рода тенденция была обнаружена и при анализе параметров  $b$  и  $S$  в предыдущем разделе, однако в том случае корреляция не достигла порога значимости.

С точки зрения целей настоящей работы наибольший интерес, безусловно, представляют взаимосвязи между латентными факторами скорости опознавания количества и латентным фактором общего интеллекта. Соответствующие стандартизированные коэффициенты корреляции составили  $-0,206$  ( $p = 0,013$ ) для фактора базового времени ответа и  $-0,612$  ( $p = 0,000$ ) для фактора возрастания времени ответа. В целом можно говорить о том, что полученные методом структурного моделирования результаты хорошо согласуются с результатами оценивания параметров возрастания с помощью

аппроксимации индивидуальных данных (при этом коэффициенты корреляции между переменными, оцененными на латентном уровне, оказались несколько более высокими по величине). И в том, и в другом случае результаты позволяют говорить о наличии индивидуальных различий как в базовой скорости опознавания количества, так и в интенсивности прироста времени ответа с усложнением задачи. Эти индивидуальные параметры только очень слабо связаны между собой и в целом могут рассматриваться в качестве самостоятельных показателей при анализе скорости определения количества. Каждый из этих параметров оказался отрицательно связанным с общим интеллектом испытуемых, однако для базовой скорости опознавания количества связь была скорее слабой, тогда как скорость изменения времени ответа с усложнением задачи оказалась высоко связанной с уровнем общего интеллекта.

## Заключение и выводы

В контексте нарастающего в современной психологии исследовательского интереса к изучению ядерного «чувства количества» [Barth et al., 2006; Dehaene, 1997; Feigenson et al, 2004; Whalen et al, 1999] и индивидуальных различий в опознавании количества [Halberda et al, 2008; Holloway, Ansari, 2008; Kovas et al, 2010] данная работа в первую очередь имела целью продемонстрировать некоторые методические приемы и решения, представляющиеся продуктивными для этой области исследований.

Во-первых, в работе показана возможная техника регистрации времени ответа испытуемых в том случае, если простейшая когнитивная задача предполагает один из множества вариантов ответа. Регистрация вербального ответа, хотя и является более трудоемкой по сравнению с традиционным способом регистрации путем нажатия клавиш на клавиатуре, позволяет фиксировать скоростные показатели даже в задачах с предполагаемым свободным ответом испытуемых, как в случае с описанной в данной работе задачей определения количества точек.

Во-вторых, в работе продемонстрированы два метода анализа возрастания времени ответа испытуемых с усложнением задачи: нелинейный регрессионный анализ и структурное моделирование с фиксированными нагрузками между манифестными и латентными переменными. Показано, что результаты, полученные с помощью различных методов анализа, в целом хорошо согласуются друг с другом.

В-третьих, в данной работе продемонстрирована возможность описания индивидуальных траекторий возрастания времени ответа в задаче определения количества с помощью единообразной функции. В большинстве индивидуальных результатов степенная функция наилучшим образом описывала взаимосвязь между количеством стимулов в предъявляемом наборе и временем опознавания количества. Кроме того, экспериментальные данные хорошо описывались структурной моделью с нагрузками на латентный фактор роста, зафиксированными в соответствии со степенной функцией. В целом эти результаты хорошо согласуются с закономерностями, описанными для усредненных групповых данных в аналогичных задачах [Akin, Chase, 1978; Jensen et al, 1950; Mandler, Shebo, 1982; Trick, Pylyshyn, 1994 и др.].

В-четвертых, результаты, полученные в настоящей работе, позволяют говорить о том, что изучение индивидуальных различий в опознавании количества представляется перспективным с исследовательской точки зрения. Действительно, комплексный анализ, реализованный в настоящей работе, позволил выявить ряд относительно независимых параметров, характеризующих как базовую скорость переработки информации о количестве, так и интенсивность прироста времени ответа с усложнением задачи. Изменение времени ответа с усложнением задачи анализировалось в данной работе как в качестве обобщенного параметра роста (интегрального показателя или латентного компонента роста), так и в качестве отдельных параметров, характеризующих наклон и кривизну индивидуальных траекторий возрастания. Во всех перечисленных случаях результаты позволяют говорить о том, что время ответов испытуемых с более низкими показателями интеллекта возрастает более стремительно при увеличении количества стимулов, чем время ответов испытуемых с более высокими показателями интеллекта.

Говоря об индивидуальных различиях в опознавании количества, мы намеренно оставляем за

рамками настоящего исследования вопрос о когнитивных процессах, лежащих в его основе. На наш взгляд, полученные данные, демонстрирующие монотонное возрастание индивидуального времени ответов как при небольшом количестве стимулов, так и при большей сложности задачи, в целом свидетельствуют в поддержку высказываемых в литературе предположений об отсутствии четкой границы между процессами переработки информации о количестве в случае маленького и большого числа стимулов (Balakrishnan, Ashby, 1991; Balakrishnan, Ashby, 1992). Возможные процессы, ответственные за возрастание времени ответа в диапазоне предполагаемого одномоментного восприятия количества, а также возможные процессы (кроме простого пересчета), участвующие в опознавании большого числа стимулов, обсуждались в начале данной работы. С точки зрения изучения индивидуальных различий наибольший интерес представляет тот факт, что индивидуальный баланс этих процессов, по-видимому, специфичен для каждого испытуемого. Именно соотношение этих процессов отражается некоторым образом в оценке возрастания времени ответа, полученной в структурном моделировании, а также в параметрах наклона и кривизны функции аппроксимации.

Следует отметить, что корреляция между латентным возрастанием времени ответа в задаче «Количество точек» и латентным общим интеллектом оказалась относительно высокой ( $-0,612$ ). Для сравнения, в одном из последних метаанализов, посвященных проблеме взаимосвязи общего интеллекта и скорости переработки информации, Шеппард и Вернон [Sheppard, Vernon, 2008] приводят следующие величины коэффициентов корреляции с общим интеллектом:  $-0,26$  для времени реакции выбора в задаче Хика (на основании 112 исследований),  $-0,25$  для скорости переработки в кратковременной памяти (5 исследований),  $-0,10$  для скорости извлечения из долговременной памяти (17 исследований),  $-0,29$  для обобщенной скорости переработки информации в достаточно разнородных когнитивных задачах (21 исследование). При этом необходимо подчеркнуть, что латентный компонент базовой скорости опознавания количества в нашем исследовании оказался связанным с общим интеллектом примерно на таком же уровне, как и в перечисленных исследованиях ( $-0,206$ ).

Таким образом, зафиксированная высокая взаимосвязь с уровнем общего интеллекта, по-видимому, специфична именно для показателя интенсивности прироста времени ответа с усложнением задачи (в данном случае – с увеличением количества стимулов). Изучение природы обнаруженной взаимосвязи, а также анализ параметров возрастания времени опознавания в качестве возможных предикторов специфических способностей, в частности математических способностей и успешности в обучении математике, представляется актуальной областью дальнейших исследований.

## Литература

Туник Е.Е. Тест интеллекта Амтхауэра. Анализ и интерпретация данных. СПб.: Речь, 2009.

Akin O., Chase W. Quantification of three-dimensional structures // Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance. 1978. Vol. 4(3). P. 397–410.

Anderson R.B. The power law as an emergent property // Memory and Cognition. 2001. Vol. 29(7). P. 1061–1068.

Anderson R.B., Tweney R.D. Artifactual power curves in forgetting // Memory and Cognition. 1997. Vol. 25(5). P. 724–730.

Balakrishnan J.D., Ashby F.G. Is subitizing a unique numerical ability? // Perception and Psychophysics. 1991. Vol. 50(6). P. 555–564.

Balakrishnan J.D., Ashby F.G. Subitizing: Magical numbers or mere superstition? // Psychological Research. 1992. Vol. 54(2). P. 80–90.

Barth H., Kanwisher N., Spelke E.S. The construction of large number representations in adults // Cognition. 2003. Vol. 86(3). P. 201–221.

Barth H., La Mont K., Lipton J., Dehaene S., Kanwisher N., Spelke E.S. Nonsymbolic arithmetic in adults

and young children // *Cognition*. 2006. Vol. 98(3). P. 199–222.

*Beauducel A., Brocke B.* Intelligence and speed of information processing: further results and questions on Hick's paradigm and beyond // *Personality and Individual Differences*. 1993. Vol. 15(6). P. 627–636.

*Dehaene S.* The number sense. Oxford, UK: Oxford University Press, 1997.

*Dehaene S., Changeux J.P.* Development of elementary numerical abilities: A neuronal model // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1993. Vol. 5(4). P. 390–407.

*Eysenck H.J.* Intelligence assessment: a theoretical and experimental approach // *British Journal of Educational Psychology*. 1967. Vol. 37(1). P. 81–97.

*Feigenson L., Dehaene S., Spelke E.S.* Core systems of number // *Trends in Cognitive Sciences*. 2004. Vol. 8(7). P. 307–314.

*Halberda J., Mazocco M.M.M., Feigenson L.* Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement // *Nature*. 2008. Vol. 55(2). P. 65–669.

*Hick W.E.* On the rate of gain of information / *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 1952. Vol. (1). P. 11–26.

*Holloway I.D., Ansari D.* Mapping numerical magnitudes onto symbols: The numerical distance effect and individual differences in children's mathematics achievement // *Journal of Experimental Child Psychology*. 2008. Vol. 103(1). P. 17–29.

*Hunt E.B.* The mathematics of behavior. New York: Cambridge University Press, 2007.

*Jensen A.* Individual differences in the Hick paradigm / P.A.Vernon (Ed.). *Speed of information processing and intelligence*. Norwood, NJ: Ablex, 1987. P. 101–175.

*Jensen A.* The g factor. London: Praeger, 1998a.

*Jensen A.* The suppressed relationship between IQ and the reaction time slope parameter of the Hick function // *Intelligence*. 1998b. Vol. 26(1). P. 43–52.

*Jensen E., Reese E., Reese T.* The subitizing and counting of visually presented fields of dots // *Journal of Psychology*. 1950. Vol. 30. P. 363–392.

*Kaufman E., Lord M., Reese T., Volkman J.* The discrimination of visual number // *American Journal of Psychology*. 1949. Vol. 62(4). P. 498–525.

*Kovas Y., Tosto M., Plomin R.* Predictors of mathematical achievement: the nature of the association // Paper presented on the Eleventh Annual Conference of International Society for Intelligence Research. Alexandria, Virginia. 2010.

*Mandler G., Shebo B.J.* Subitizing: An analysis of its component processes // *Journal of Experimental Psychology: General*. 1982. Vol. 111(1). P. 1–21.

*Myung I.J., Kim C., Pitt M.A.* Toward an explanation of the power law artifact: Insights from response surface analysis // *Memory and Cognition*. 2000. Vol. 28(5). P. 832–840.

*Neubauer A.C., Riemann R., Mayer R., Angleitner A.* Intelligence and reaction times in the Hick, Sternberg and Posner paradigms // *Personality and Individual Differences*. 1997. Vol. 22(6). P. 885–894.

*Railo H., Koivisto M., Revonsuo A., Hannula M.M.* The role of attention in subitizing // *Cognition*. 2008. Vol. 107(1). P. 82–104.

*Rammsayer T.H., Brandler S.* Performance on temporal information processing as an index of general intelligence // *Intelligence*. 2007. Vol. 35(2). P. 123–139.

*Roth E.* Die Geschwindigkeit der Verarbeitung von Information und ihr Zusammenhang mit Intelligenz // *Zeitschrift fuer Experimentelle und Angewandte Psychologie*. 1964. Vol. 11. P. 616–622.

*Sathian K., Simon T.J., Peterson S., Patel G.A., Hoffman J.M., Grafton S.T.* Neural evidence linking visual object enumeration and attention // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1999. Vol. 11(1). P. 36–51.

*Schweizer K.* The fixed-links model in combination with the polynomial function as a tool for investigating choice reaction time data // *Structural Equation Modeling*. 2006(a). Vol. 13(3). P. 403–419.

*Schweizer K.* The Fixed-Links Model for Investigating the Effects of General and Specific Processes on Intelligence // *Methodology*. 2006(b). Vol. 2(4). P. 149–160.

*Schweizer K.* Improving the interpretability of the variances of latent variables by uniform and factor-specific standardizations of loadings // *Methodology*. 2010. Vol. 6(4). P. 152–159.

*Shannon C.E.* A mathematical theory of communication // *The Bell System Technical Journal*. 1948. Vol. 27. P. 379–423, 623–656.

*Sheppard L.D., Vernon P.A.* Intelligence and speed of information-processing: A review of 50 years of research // *Personality and Individual Differences*. 2008. Vol. 44(3). P. 535–551.

*Spearman C.* The abilities of man. New York: Macmillan, 1927.

*Trick L., Pylyshyn Z.* Why are small and large numbers enumerated differently? A limited capacity preattentive stage in vision // *Psychological Review*. 1994. Vol. 101(1). P. 80–102.

*Whalen J., Gallistel C.R., Gelman R.* Non-verbal counting in humans: The psychophysics of number representation // *Psychological Science*. 1999. Vol. 10(2). P. 130–137.

Поступила в редакцию 3 марта 2011 г. Дата публикации: 15 апреля 2011 г.

### [Сведения об авторе](#)

*Додонов Юрий Сергеевич.* Научный сотрудник, Московский городской психолого-педагогический университет, ул. Сретенка, д. 29, 127051 Москва, Россия.

E-mail: [ys.dodonov@gmail.com](mailto:ys.dodonov@gmail.com)

### [Ссылка для цитирования](#)

Додонов Ю.С. Общий интеллект и скорость опознавания количества [Электронный ресурс] // Психологические исследования: электрон. науч. журн. 2011. N 2(16). URL: <http://psystudy.ru> (дата обращения: чч.мм.гггг). 0421100116/0015.

[Последние цифры – номер госрегистрации статьи в Реестре электронных научных изданий ФГУП НТЦ "Информрегистр". Описание соответствует ГОСТ Р 7.0.5-2008 "Библиографическая ссылка". Дата обращения в формате "число-месяц-год = чч.мм.гггг" – дата, когда читатель обратился к документу и он был доступен.]

[К началу страницы >>](#)