

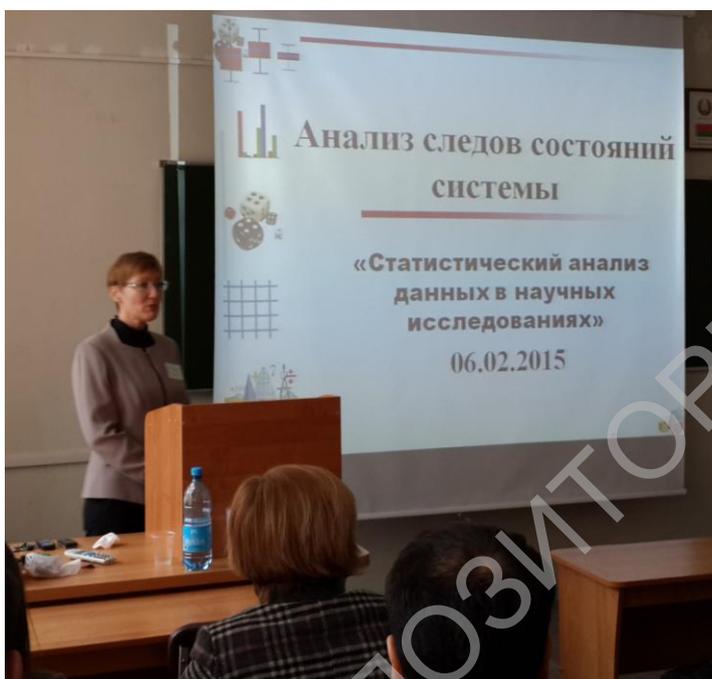
АНАЛИЗ СЛЕДОВ СОСТОЯНИЙ СИСТЕМЫ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ДИСПЕРСИОННОМУ АНАЛИЗУ

Н.П. Радчикова

кандидат психологических наук, доцент
Белорусский государственный педагогический
университет имени Максима Танка

Жук Н.Н.

Белорусский государственный педагогический
университет имени Максима Танка



Идея экспериментальной психологии в том виде, в котором ее часто приводят в учебниках, очень проста: так как мы хотим изучить некоторые неявные процессы, которые никогда не могут быть наблюдаемы или измеряемы прямо (так называемый черный ящик), то операционализируем эти процессы через явные (зависимые переменные). Зависимые переменные отражают работу неких скрытых механизмов, о которых мы можем только

догадываться. На основании полученных эмпирических данных исследователь строит догадки о том, сколько механизмов (систем) работает и как именно они работают.

Когнитивная психология известна тем, что количество систем в любом исследовании очень быстро растет, поэтому вопрос о том, можно ли все еще ограничиться предположением о наличии только одной системы (одного механизма) и пытаться объяснить имеющиеся данные действием ее работы, или уже пора выдвинуть предположение о существовании некоего дополнительного механизма, всегда является самым актуальным. Тому есть много примеров. Как устроена наша память? Это одна система, основанная на одном механизме, или этих систем несколько, и они отличаются по длительности хранения информации и механизмам кодирования? Как происходит процесс категоризации, то есть отнесения объекта к какой-либо категории? Работает только один механизм, вычленяющий существенные признаки и сверяющий их,

или работают еще и другие механизмы – например, запоминания исключений или определения общего «семейного» сходства? Как мы воспринимаем объекты с вариативной формой? Как все другие объекты, форму которых мы не можем изменить без специальных приспособлений, или же включается дополнительный механизм, как утверждают Г.В. Лосик и А.В. Северин [3,4]. Чтобы проверить такие гипотезы, исследователи обычно проводят сложные (факторные) эксперименты, то есть такие, в которых более одной независимой переменной. Независимые переменные подбираются таким образом, чтобы в одних случаях они оказывали влияние на зависимую переменную, а в других – нет.

Например, предполагается, что для полного восприятия предметов с невариативной формой достаточно одного зрения; дополнительные модальности совершенно не важны, чтобы восприятие давало полный и адекватный образ. При восприятии предметов с вариативной формой одного зрения недостаточно, обязательно должны быть задействованы тактильный анализатор и моторная система руки, чтобы получить полный образ объекта. Для проверки этой гипотезы определим зависимую переменную как точность восприятия, которая измеряется путем сравнения субъективной шкалы испытуемого с объективной шкалой различий нескольких объектов. Для операционализации этого определения берем несколько объектов, которые различаются по ряду четко определенных признаков (цвет, форма, число дырочек в пуговицах и т.д.) и определяем их объективное сходство в пространстве этих признаков (пример стимульного материала приведен на рис. 1). Затем даем испытуемому определить то же самое сходство и сравниваем с тем, что должно быть. Мера совпадения и служит индикатором точности восприятия.



Рис. 1. Пример стимульного материала для проверки действия различных перцептивных механизмов при восприятии предметов с вариативной формой

Если для объектов с вариативной формой нужен дополнительный механизм, то в факторном эксперименте результаты должны схематически выглядеть так, как представлено на рис. 2:

Из рис. 2 видно, что стимулы с невариативной формой одинаково хорошо воспринимаются и только зрительно, и в том случае, если к зрению добавляются тактильные и кинестетические ощущения, то есть зрения вполне достаточно для того, чтобы получить полный образ. В случае же зрительного восприятия предметов с вариативной формой много информации остается недоступной, и точность восприятия нарушается. Для подтверждения полученных результатов обычно проводится статистический анализ, представляющий собой дисперсионный анализ, который в данном случае должен показать значимое взаимодействие между независимыми переменными «вид объекта» и «механизмы восприятия». Если дисперсионный анализ дает значимое взаимодействие (схематически результаты представлены вверху рис. 2), то можно интерпретировать результаты как подтверждение того, что только для предметов с вариативной формой одного зрения недостаточно.

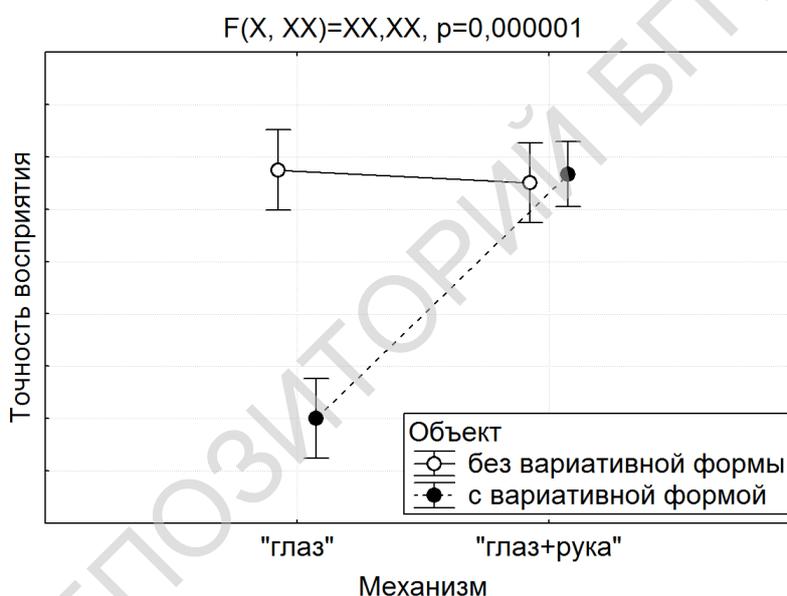


Рис. 2. Схематическое представление результатов гипотетического факторного эксперимента для проверки гипотезы о работе дополнительного перцептивного механизма при восприятии предметов с вариативной формой

Второй характерный пример можно взять из статьи [6], которая посвящена изучению восприятия человеческих лиц. Предполагается, что восприятие лица столь целостное, что изменение в одной части лица существенно изменит восприятие всех остальных частей. Примером может служить исследование, в котором испытуемым предъявлялись два варианта изображений – нормальные лица и лица, у которых половина была сдвинута (рис. 3). Верхняя часть лиц могла быть одинаковой (левая часть рисунка) или разной (правая часть). Нижние части лиц различались во всех случаях.

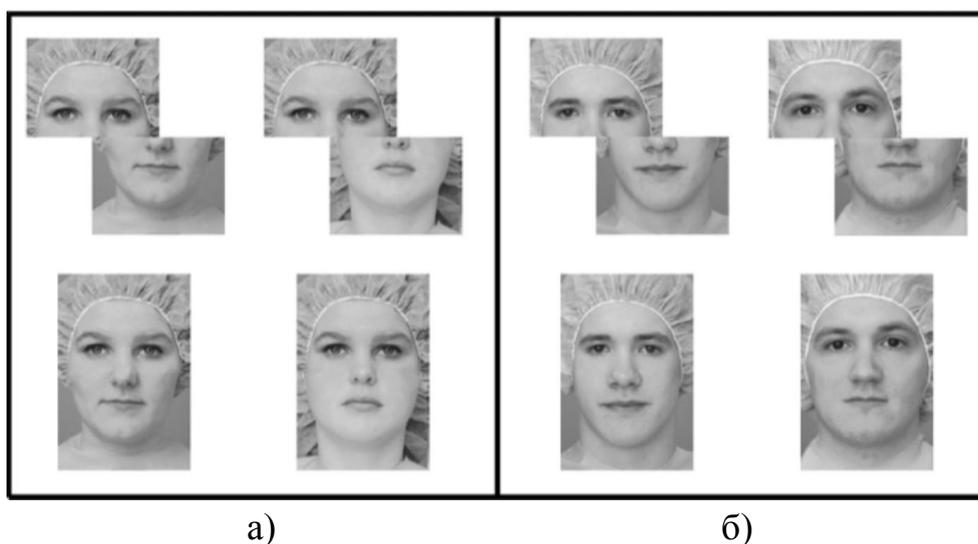


Рис. 3. Пример стимульного материала для изучения восприятия лиц [6, с. 763]

Когда половина лица сдвинута, то испытуемые довольно легко определяют, что верхние части одинаковы (рис. 3, слева вверху) или разные (рис. 3, справа вверху). Если же изображения совмещены, то люди решают, что верхние части различаются тоже, как в левой части (что не соответствует истине), так и в правой. В эксперименте подсчитывался процент правильных ответов. Анализ результатов (см. рис. 4) представляет собой типичное взаимодействие.

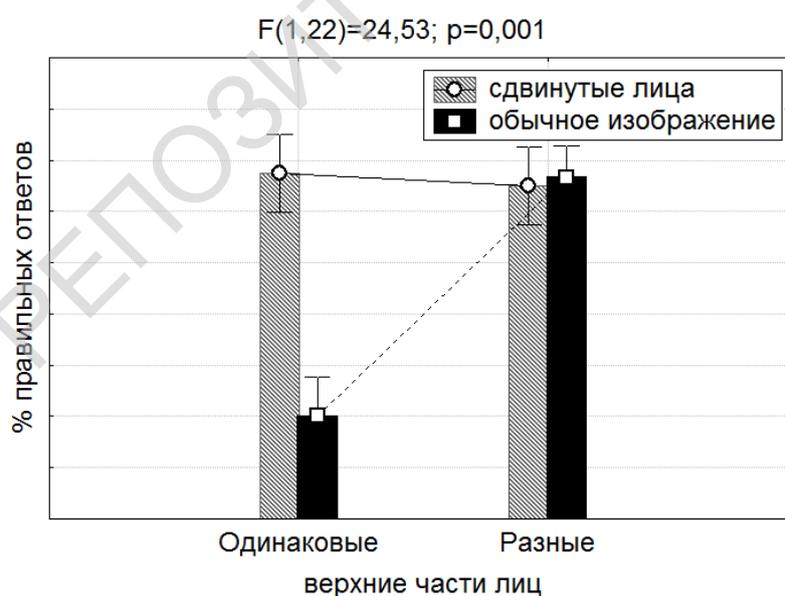


Рис. 4. Успешность определения совпадения/несовпадения верхних половин лиц (взрослые, контрольная группа) [6, с.765]

Авторы исследования [6] провели дисперсионный анализ, который показал значимость главных эффектов, что не столь существенно, и значимость взаимодействия ($F(1,22)=24,53; p=0,001$) между видом изображения

(сдвинутые/целые лица) и правильным ответом (одинаковые/разные лица). В обсуждении указывается, что полученные результаты показывают сильный эффект холистичности восприятия лица: испытуемые воспринимают одинаковые нижние части лиц как разные, если различаются верхние части лиц.

Примеры подобных исследований можно приводить бесконечно. В учебниках по экспериментальной психологии также указывается, что для выявления раздельного влияния каждой независимой переменной на зависимую, а также того, как присутствие одной из независимых переменных влияет на эффект воздействия другой на зависимую переменную, следует применять многофакторную экспериментальную схему и рассматривать взаимодействие, прежде чем интерпретировать результаты [1, с. 277; 2, с. 118; 5, с. 141].

Дисперсионный анализ стал настолько привычной техникой для анализа данных сложных экспериментальных схем, что исследователи часто забывают его ограничения, хотя известно, что модель дисперсионного анализа – это линейная модель. Фактически, в самом простейшем случае (однофакторный дисперсионный анализ), мы раскладываем общую дисперсию зависимой переменной (ЗП) на две части – на ту часть, которую можно объяснить действием независимой переменной (НП), и на ту часть, которую нельзя объяснить действием независимой переменной (ошибку, действие случайных факторов):

Общий эффект = действие НП + действие случайных факторов.

Для двухфакторного дисперсионного анализа ситуация немного сложнее:

Общий эффект = действие НП1 + действие НП2 +
+ взаимодействие двух НП + действие случайных факторов

и т.д.

Возможно, линейная модель и может приблизительно оценить или описать некоторые психологические феномены, но многие другие феномены и отношения точно являются нелинейными. Это значит, что использование линейных моделей при их изучении приведет к совершенно неправильным результатам, и это ЗАРАНЕЕ известно. Классическим примером этой проблемы является интерпретация взаимодействий: взаимодействия, полученные для одной зависимой переменной (напр., точность узнавания) могут либо пропасть, либо поменяться на противоположные (!) при использовании другой зависимой переменной или теоретического конструкта (например, прочность запоминания), которые монотонно, но *нелинейно* связаны с первой зависимой переменной.

Рассмотрим подробнее пример, приведенный в статье [7]. Дж. Лофтус рассматривает самое типичное исследование памяти. Для исследования выбираем два времени отсрочки воспроизведения стимульного материала после предъявления (например, 5 сек и 20 сек) и вторую независимую переменную – это может быть что угодно, например, осмысленность стимульного материала, число повторений, тип инструкции и т.д. Назовем ее *A*, а ее уровни обозначим как *A1* и *A2*. Зависимой переменной традиционно является процент (или вероятность) правильных ответов испытуемых. Пусть на рис. 5 представлены результаты этого эксперимента, а дисперсионный анализ показал, что все главные эффекты и взаимодействие значимы.

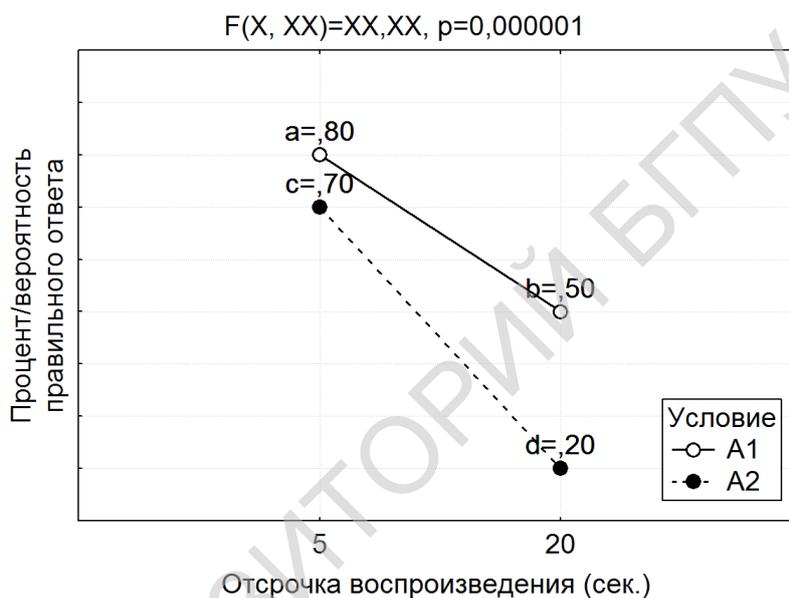


Рис. 5. Гипотетические результаты исследования влияния двух независимых переменных на продуктивность запоминания

Какие выводы могут быть сделаны из полученных результатов? Если рассматривать главные эффекты, то можно сказать, что условие *A1* приводит к лучшему запоминанию, чем условие *A2*, а общая продуктивность запоминания падает с течением времени, прошедшим от последнего предъявления стимула до момента воспроизведения. Так как есть значимое взаимодействие, то можно заключить, что забывание при условии *A2* происходит быстрее, чем при условии *A1*. Все эти три вывода предполагают некоторую модель памяти и забывания. В самом общем случае ее можно сформулировать следующим образом: испытуемый воспроизводит информацию о чем-либо, что каким-то образом хранится у него в памяти (объяснение, как именно хранится, зависит от конкретного подхода). Чем выше «качество» этой информации, тем чаще испытуемый дает верный ответ. Понятие «качества» также зависит от

конкретной модели, например, это может быть уровень переработки информации, как у Ф. Крэйка и Р. Локхарта и т.д. Три вывода, которые были сделаны, можно теперь сформулировать следующим образом. Качество информации выше при условии *A1*, чем при условии *A2*. Качество информации падает при увеличении времени отсрочки воспроизведения. Уменьшение качества информации происходит быстрее при условии *A2*, чем при условии *A1*. Однако, третий вывод не следует прямо из теории и сильно зависит от того, как это самое «качество» определяется в модели. Чтобы пояснить, почему это так зависит от модели, рассмотрим рис. 6-9.

Модель А предполагает линейную зависимость (рис. 6), и тогда наши выводы верны и корректны. Пусть вероятностям правильного ответа *a*, *c*, *b* и *d* соответствуют некоторые значения $Q(a)$, $Q(c)$, $Q(b)$ и $Q(d)$. Взаимодействие определяется как $a-c < b-d$. Взаимодействие для «качества» информации определяется как $Q(a)-Q(c) < Q(b)-Q(d)$, что и есть на самом деле.

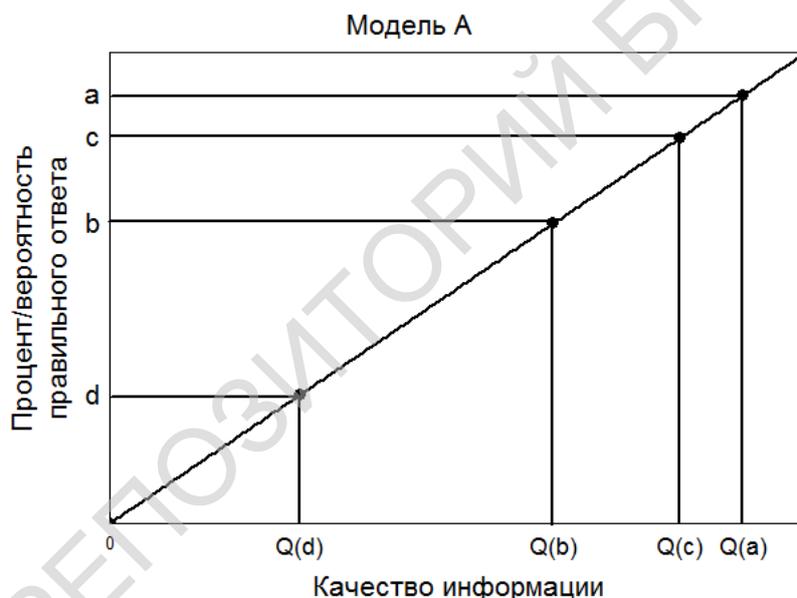


Рис. 6. Гипотетическое соотношение качества информации и вероятности правильных ответов испытуемых. Модель А. Вероятность $(a-c) < (b-d)$. Качество информации $Q(a)-Q(c) < Q(b)-Q(d)$

Однако мы не можем прямо измерить или наблюдать интересующие нас процессы и механизмы, мы можем только фиксировать зависимые переменные, которые каким-то образом отражают их работу. Отношение же между скрытыми (латентными) процессами и наблюдаемым поведением, как правило, не известно и мы *безо всяких оснований* предполагаем, что соотношение между латентной и явной переменной линейное.

Рассмотрим теперь, что будет, если зависимость нелинейная. Модели В, С и D предполагают нелинейную зависимость вероятности правильного ответа

от «качества» информации. В модели В взаимодействие все еще имеет смысл, так как $Q(a)-Q(c)<Q(b)-Q(d)$, и третий вывод верен (рис. 7).

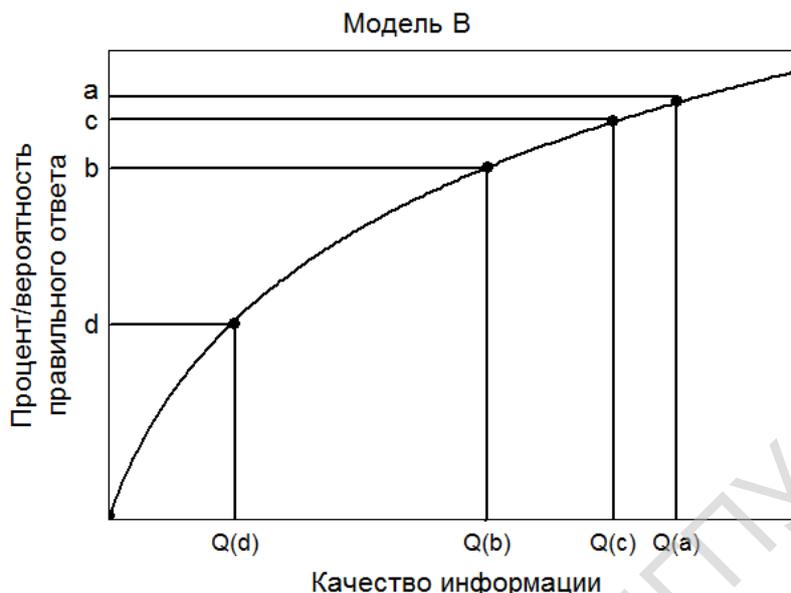


Рис. 7. Гипотетическое соотношение качества информации и вероятности правильных ответов испытуемых. Модель В. Вероятность $(a-c)<(b-d)$. Качество информации $Q(a)-Q(c)<Q(b)-Q(d)$

Когда мы переходим к моделям С и D, ситуация резко меняется. В модели С (рис. 8) взаимодействие пропадает, так как $Q(a)-Q(c)=Q(b)-Q(d)$, а в модели D (рис. 9) вывод должен быть прямо противоположный: забывание идет быстрее при условии А2, чем при условии А1, так как $Q(a)-Q(c)>Q(b)-Q(d)$.

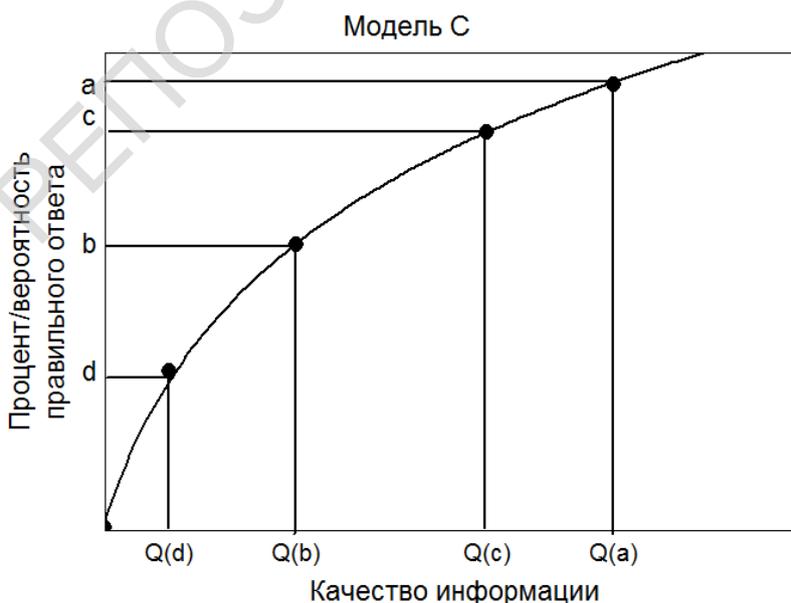


Рис. 8. Гипотетическое соотношение качества информации и вероятности правильных ответов испытуемых. Модель С. Вероятность $(a-c)<(b-d)$. Качество информации $Q(a)-Q(c)=Q(b)-Q(d)$

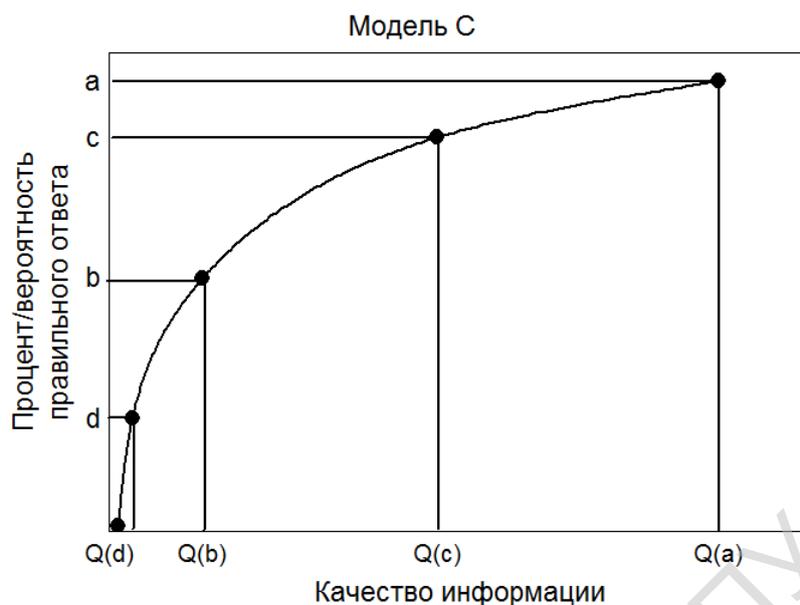


Рис. 9. Модель D. Гипотетическое соотношение качества информации и вероятности правильных ответов испытуемых.

Вероятность $(a-c) < (b-d)$. Качество информации $Q(a) - Q(c) > Q(b) - Q(d)$

Поэтому, не имея четкой, обоснованной модели, мы не можем интерпретировать взаимодействия, полученные в дисперсионном анализе. К сожалению, такие модели встречаются достаточно редко.

Вторая проблема, с которой может столкнуться исследователь, интерпретируя взаимодействие, полученное в результате факторного эксперимента, и подтвержденное дисперсионным анализом (часто называемое диссоциацией), это проблема потолочного эффекта.

Рассмотрим один из примеров, приведенный в [5], который показывает, как интерпретация результатов меняется в случае предположения о потолочном эффекте. В исследовании [9] для изучения «качества запоминания» в случае разных модальностей предъявления стимульного материала (зрительно, на слух, зрительно и на слух вместе) испытуемым предъявлялись 36 различных троек согласных букв. Испытуемые затем тестировались либо сразу после предъявления стимула, либо через 3, 6, 9, 12 и 18 секунд. Результаты исследования приведены на рис. 10.

На рис. 10 видно, что стимулы, предъявленные зрительно, запоминаются лучше, чем стимулы, предъявленные на слух. Предъявление стимульного материала сразу в двух модальностях (и зрительно, и на слух) не дает лучшего запоминания. Можем ли мы еще что-нибудь почерпнуть из результатов эксперимента, например, оценить скорость забывания? Очевидно, что ломаные, соединяющие точки полученных данных, пересекают ось U примерно в одном месте и затем расходятся под разными углами. Поэтому есть соблазн

предположить, что скорость забывания может быть определена по углу наклона кривых забывания. Тем не менее, такие выводы сделать нельзя. При нулевой задержке запоминание у испытуемых одинаково и практически 100%, поэтому установить различия в зависимой переменной для этого уровня независимой переменной невозможно. Если бы у нас была какая-нибудь шкала, позволяющая измерить производительность испытуемых больше, чем 100%, то, возможно, обнаружилась бы разница в запоминании и на этом уровне независимой переменной. Поэтому предположение о различных скоростях забывания не может быть принято, так как может быть неверным предположение о равной производительности испытуемых при нулевой задержке.

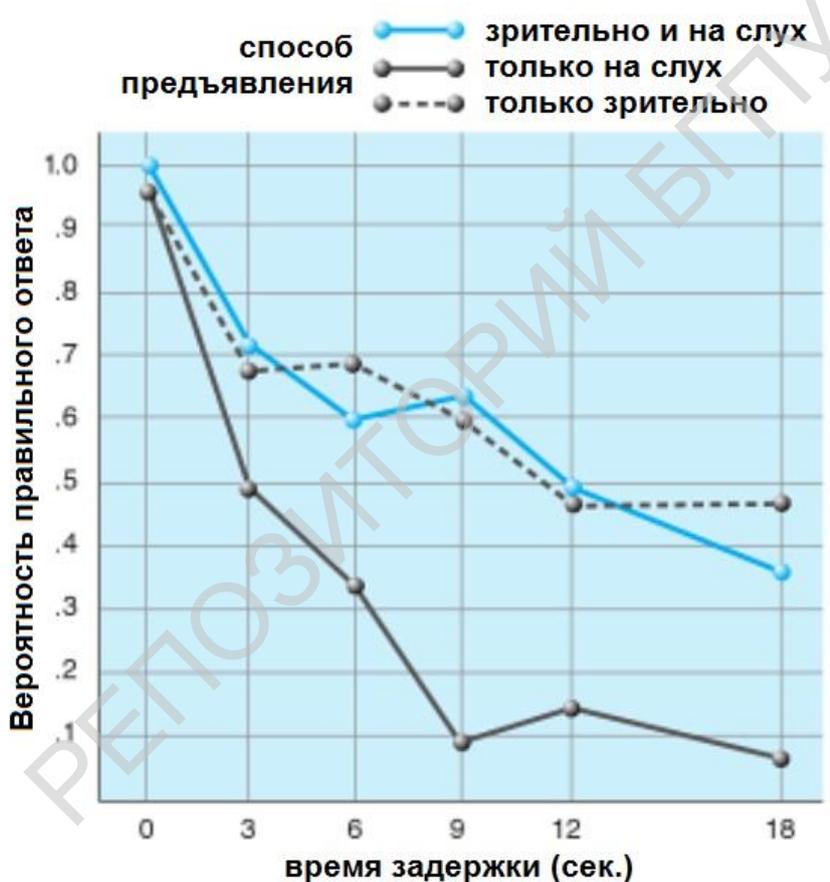


Рис. 10. Вероятность правильного воспроизведения триграмм как функция трех условий предъявления и времени задержки ответа [5, с.230]

Третий недостаток линейной теории и дисперсионного анализа гораздо менее очевиден, и поэтому гораздо более коварен: так как линейные модели соблазнительно легки и широко распространены, то они мешают исследователю рассматривать альтернативные подходы и теории, которые могли бы, возможно, пролить более яркий свет на психологические процессы [8, с. 836].

Одна из таких возможностей, пока еще нешироко распространенных, и будет сейчас рассмотрена. Предлагаемый метод называется «Анализ следов состояний системы» (*State Trace Analysis*). Это непараметрический метод для определения того, одна или несколько промежуточных переменных связывают множество зависимых и независимых переменных. Анализ следов состояний системы (АССС) может использоваться для определения того, является ли множество зависимых переменных отображением одной латентной переменной, например, в исследованиях памяти, есть ли одно основание (одна система) для воспроизведения и узнавания, для точности узнавания и уверенности в правильности ответа, точности узнавания лиц по сравнению с другими стимулами и т.д.

В анализе следов состояний системы исследователь изменяет причинные (независимые) переменные с целью повлиять на латентные переменные, чтобы определить размерность латентности (количество систем, механизмов) и связанных с ними конструкторов. В анализе следов состояний системы множество индикаторов (зависимых переменных) называются «фактором состояния» (*state factor*). Множество независимых (причинных) переменных называется «фактором размерности» (*dimensional factor*). Латентные механизмы определяются не сравнением параметрических моделей с разным числом латентных переменных, а рассмотрением результатов предположения о существовании только одной латентной переменной. Эти результаты представляют собой график одной зависимой переменной в зависимости от другой зависимой переменной (*state-trace plot*). Этот график является монотонным, если обе зависимые переменные определяются одной латентной переменной (одним механизмом). Поэтому, определение того, один или более механизмов задействованы в каком-либо процессе, сводится к определению того, монотонным ли является график следов состояний системы (*state-trace plot*).

Оси графика следов состояний определяют пространство состояний изучаемой системы. Траектории точек в этом пространстве состояний при изменении НП представляют собой «след» поведения системы в пространстве состояний. Хотя, в принципе, пространство состояний может быть многомерным, мы рассмотрим только двухмерный случай. На рис. 11 представлены гипотетические данные эксперимента по проверке гипотезы о дополнительном механизме для восприятия предметов с вариативной формой.

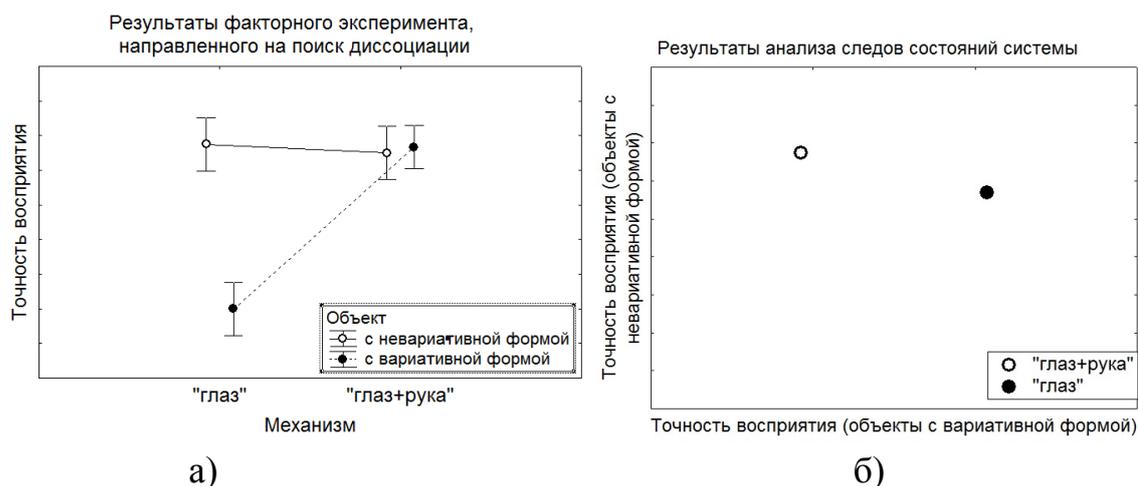


Рис. 11. Схематическое представление результатов гипотетического факторного эксперимента для проверки гипотезы о работе дополнительного перцептивного механизма при восприятии предметов с вариативной формой в случае применения а) дисперсионного анализа и б) анализа следов состояний системы

Оси X и Y на рис. 11б представляют собой два уровня фактора состояний. Ось X в нашем примере представляет собой точность восприятия предметов с вариативной формой, а ось Y – точность восприятия предметов с невариативной формой. Точка на этом графике определяется двумя координатами – по одной координате на каждый уровень фактора состояний. Например, если в проведенном исследовании точность восприятия объектов с невариативной формой было 67%, а для восприятия предметов с вариативной формой – 58%, то точка будет иметь координаты $(x=0,67; y=0,58)$.

В таком случае получается всего две точки, и отследить монотонность не представляется возможным. Поэтому, в отличие от привычной факторной схемы дисперсионного анализа, тут добавляется третий фактор – третья независимая переменная. Эта независимая переменная, называемая «трассировочным фактором» (*trace factor*), изменяется самим экспериментатором. Например, в нашем эксперименте предположим, что при более длительном времени экспозиции стимульного материала точность и полнота восприятия возрастает. Тогда добавим третью независимую переменную – время предъявления стимулов. Получится трехфакторная экспериментальная схема (вариативная vs невариативная форма x «глаз» vs «глаз+рука» x длительное время vs короткое время предъявления), которая даст характерный график (рис. 12):



Рис. 12. Схематическое представление результатов гипотетического факторного эксперимента для проверки гипотезы о работе дополнительного перцептивного механизма при восприятии предметов с вариативной формой:
график следов состояний системы

График следов состояний системы обычно имеет одно множество точек для каждого уровня фактора размерности (*dimensional factor*). В нашем примере первый уровень фактора размерности соответствует зрительному восприятию («глаз»), а второй – зрительному и тактильному вместе («глаз+рука»). Различные условия для каждого уровня фактора размерности получаются при изменении трассировочного фактора. Условия, которые различаются только уровнями трассировочного фактора, обычно соединяются прямыми линиями, чтобы визуально соединить их вместе, и эти линии называются «следами данных» (*data traces*). Далее остается только определить монотонность графика, о чем будет рассказано далее.

Итак, новый метод, анализ следов состояний системы, предполагает введение в экспериментальную схему еще одной независимой переменной, трассировочного фактора, который не представляет непосредственного интереса для исследователя. После получения данных строится график следов состояний системы, такой что: 1) оси X и Y представляют собой два уровня фактора состояний; 2) точка на этом графике определяется двумя координатами – по одной координате на каждый уровень фактора состояний и 3) различные условия для каждого уровня фактора размерности получаются при изменении трассировочного фактора. Условия, которые различаются только уровнями трассировочного фактора, обычно соединяются прямыми линиями, чтобы визуально соединить их вместе, и эти линии называются «следами данных».

Далее определяется монотонность кривой, соединяющей точки графика. Если точки графика следов состояний системы нельзя соединить монотонной кривой, то такой график не может быть порождением работы только одного механизма (одной латентной переменной) и служит подтверждением работы нескольких механизмов (систем).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудвин, Дж. Исследование в психологии: методы и планирование / Дж. Гудвин. – 3-е изд. – СПб: Питер, 2004. – 558 с.
2. Дружинин, В.Н. Экспериментальная психология / В.Н. Дружинин. – 2-е изд. – СПб: Питер, 2001. – 320 с.
3. Лосик, Г.В. Полиmodalное восприятие объектов с вариативной формой / Г.В. Лосик, Д.А. Пархоменко // Когнитивные штудии: актуальные проблемы когнитивной науки: материалы IV междисциплинарного семинара. Вып. 4 / под ред. А.П. Лобанова, Н.П. Радчиковой. – Минск: БГПУ, 2013. – С. 51-60.
4. Северин, А.В. Модель перцептивного действия при восприятии объектов вариативной формы / А.В. Северин // Вести БГПУ. – 2013. – № 2(76). – С. 51-56.
5. Elms, D.G. Research Methods in Psychology / D.G. Elms, В.Н. Kantowitz, H.L. Roediger. – West Publishing Company, 1992. – 480 p.
6. Le Grand, R., Mondloch, C.J., Maurer, D., & Brent, H.P. Impairment in Holistic Face Processing Following Early Visual Deprivation / R. Le Grand, C.J. Mondloch, D. Maurer, H.P. Brent. –
7. Loftus, G.R. On interpretation of interactions / G.R. Loftus. – Memory & Cognition. – 1978. – No. 6. – P. 312–319.
8. Loftus, G.R. Linear theory, dimensional theory and the face-inversion effect / G.R. Loftus, M.A. Oberg, A.M. Dillon // Psychological Review. – 2004. – Vol. 111. – No. 4. – P. 835-863.
9. Scarborough, D.L. Stimulus modality effects of forgetting in short-term memory / D.L. Scarborough // Journal of Experimental Psychology. – 1972 – No. 95(2). – P. 285-289.