Ю. П. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО, д-р техн. наук

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НУЛЬ-ОРГАНА В ПСИХОФИЗИКЕ. *СООБЩЕНИЕ II*

Введем в рассмотрение произвольно взятую функцию F ластью определения A и областью значений B и предикат венства D на B^2, определяемый условиями:

$$D(u_1,\ u_2) = \begin{cases} 0, & \text{если } u_1 \neq u_2; \\ 1, & \text{если } u_1 = u_2. \end{cases}$$

Используя суперпозицию этих функций, образуем фун E с областью определения A^2 и областью значений Σ:

$$E(x_1,\ x_2) = D(Fx_1,\ Fx_2).$$

Функция E удовлетворяет следующим трем требован $E(x,\ x) = 1$ (рефлексивность),

$$\left.\begin{array}{l} \text{если } E(x_1,\ x_2) = 1, \text{ то } E(x_2,\ x_1) = 1 \text{ (симметричность),} \\ \text{если } E(x_1,\ x_2) = E(x_2,\ x_3) = 1, \text{ то } E(x_1,\ x_3) = 1 \text{ (тран-} \\ \text{зитивность)} \\ \text{для любых } x,\ x_1,\ x_2,\ x_3. \end{array}\right\}$$

Действительно: 1) $E(x,\ x) = D(Fx,\ Fx) = 1$; 2) если $E(x_1,$ $x_2) = 1$, то $Fx_1 = Fx_2$, поэтому $E(x_2,\ x_1) = 1$; 3) если $E(x_1,$ $= E(x_2,\ x_3) = 1$, то $Fx_1 = Fx_2 = Fx_3$, поэтому $E(x_1,\ x_3) = 1$.

Таким образом, отношение $x_1 E x_2$, для которого фун $E(x_1,\ x_2)$ служит предикатом, есть отношение эквивалентн Функцию $E(x_1,\ x_2)$ назовем *предикатом эквивалентности*, представление в форме (2) — *моделью эквивалентности*.

Модель эквивалентности используется нами для мате ческого описания психофизических процессов. Представим дикат эквивалентности и его модель в виде схем (рис. 1). соответствующий предикату эквивалентности (рис. 1, a), б интерпретировать как испытуемого, реализующего своим дением функцию E. Испытуемый реагирует на физический мул $(x_1,\ x_2)$ двоичным ответом y. Представим тот же преобразования физического стимула в реакцию испыту виде двух последовательно соединенных блоков 1 и 2 (рис. , *б*). Блок 1 состоит из двух идентичных параллельно вклю- енных преобразователей сигналов, каждый реализует функ- ию *F*. Блок *2* выполняет роль нуль-органа, он сравнивает сиг- алы u_1 и u_2 и при их равенстве вырабатывает сигнал 1, при равенстве — сигнал 0. Пару сигналов (u_1, u_2) интерпретируем к ощущение испытуемого, блок 1 — как психофизическую стему испытуемого, преобразующую физический стимул $_1$, x_2) в ощущение (u_1, u_2), блок 2 — как сознание (точнее, к механизм сознания), с помощью которого испытуемый ана- зирует компоненты ощущения u_1 и u_2 и устанавливает факт равенства или неравенства.

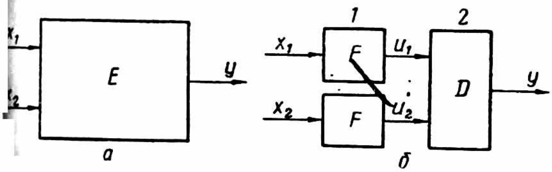

Рис. 1.

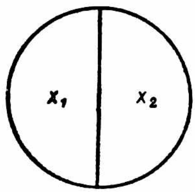

Рис. 2.

Многие психофизические задачи могут быть подведены под исанную схему. В качестве примера рассмотрим одну из их. Как известно, в зависимости от спектрального состава свет и действии на сетчатку глаза вызывает в сознании человека т или иной цвет — голубой, красный, белый, черный, фиоле- вый, зеленый и т. д. Обозначим через x спектр светового лучения, действующего на орган зрения испытуемого, через — цвет, возникающий при этом в сознании испытуемого. По- авим перед собой задачу отыскания вида функции $u=Fx$, ализуемой психофизической системой испытуемого в процессе еобразования излучения в цвет.

Чтобы подойти к решению этой задачи, можно поступить едующим образом. Испытуемому предъявим для одновремен- го восприятия сразу два световые излучения x_1 и x_2. Прак- чески это можно сделать с помощью специального прибора, зываемого субъективным колориметром. В окуляр колори- етра испытуемый увидит на темном фоне небольшой кружок, ставленный из двух равных полей сравнения, разграничен- ых вертикальной линией (рис. 2). Каждое из этих полей испы- емый видит равномерно окрашенным в свой цвет. Цвет каж- го поля зависит исключительно от спектра светового излуче- я, действующего на соответствующий участок сетчатки глаза пытуемого. Пусть x_1 — световое излучение, формирующее ет u_1 левого поля, x_2 — излучение, формирующее цвет u_2 пра- го поля. В зависимости от выбора стимулов x_1 и x_2 цвет по- й сравнения может быть различным или одинаковым. В слу- е равенства цветов граница между полями исчезает, и испы-

туемый видит равномерно окрашенный кружок. От испытуемо[го] требуется, чтобы он отреагировал ответом «да», если он набл[ю]дает равенство цветов, или ответом «нет», если цвета на пол[я]
сравнения различны.

Своим поведением испытуемый реализует некоторую фун[к]цию $y=E(x_1, x_2)$. Аргументами этой функции служат спектр[ы] x_1 и x_2 излучений, предъявляемых испытуемому на полях сра[в]нения колориметра. Значением функции E служит двоичн[ый] ответ y испытуемого. Если положиться на субъективное свид[е]тельство испытуемого о том, что он действительно формиру[ет] свой ответ в результате сравнения цветов, то можно прий[ти] к выводу о применимости в данном случае модели эквивален[т]ности. Ответ испытуемого при равенстве цветов обозначи[м] символом 1, при неравенстве цветов — символом 0. Функц[ия] $y=D(u_1, u_2)$ математически описывает операцию сравнен[ия] цветов, осуществляемую испытуемым. Функция $u=Fx$ пре[д]ставляет собой математический эквивалент преобразования св[е]тового излучения в цвет, осуществляемого органом зрения и[с]пытуемого.

Как видим, вывод о применимости модели эквивалентнос[ти] к математическому описанию поведения испытуемого прих[о]дится основывать на субъективном свидетельстве испытуемог[о]. Использование интроспективных данных, принципиально не пр[о]веряемых объективными методами, существенно снижает ст[е]пень надежности постановки научной задачи. Эта степень н[а]дежности была бы значительно выше, если бы удалось основа[ть] применимость модели эквивалентности исключительно объе[к]тивными методами. Такое обоснование возможно, оно состо[ит] в следующем.

Любую функцию $y=E(x_1, x_2)$, удовлетворяющую свойств[ам] рефлексивности, симметричности и транзитивности, можно пре[д]ставить в виде модели эквивалентности. Более аккуратно э[то] утверждение может быть сформулировано следующим образо[м]. Для любой функции $E(x_1, x_2)$, имеющей произвольно выбранн[ую] область определения A^2 и область значений Σ и удовлетворя[ю]щей условиям (3), найдутся множество B и функция $F: A \rightarrow$ [B] такие, что функция F может быть представлена в виде (2).

Приведем доказательство этого утверждения. Для каждо[го] $x \in A$ найдется множество S'_x всех x_1 таких, что $E(x_1, x_2) = 1$ [и] множество S''_x всех x_1 таких, что $E(x_1, x) = 1$. Вследствие си[м]метричности $S'_x = S''_x = S_x$. Примем в качестве множества B с[и]стему всех S_x. Введем функцию F с областью определения [A] и областью значений B, полагая $Fx = S_x$. Покажем, что $E(x_1,$ $x_2) = D(Fx_1, Fx_2)$. Пусть $E(x_1, x_2) = 1$. Если $x \in S_{x_1}$, то $E(x,$ $x_1) = 1$. В силу транзитивности $E(x, x_2) = 1$, а следовательн[о] $x \in S_{x_2}$. Значит, $S_{x_1} \subseteq S_{x_2}$. Если же $x \in S_{x_2}$, то $E(x_2, x) = 1$ и [в] силу транзитивности $E(x_1, x) = 1$, поэтому $x \in S_{x_1}$. Отсюда S_{x_1}

$\in S_{x_1}$. Таким образом, $S_{x_1}=S_{x_2}$, а это значит, что $Fx_1=Fx_2$, следовательно, $D(Fx_1,\ Fx_2)=1$. Пусть теперь $E(x_1,\ x_2)=0$. Тогда $x_2 \,\bar{\in}\, S_{x_1}$, вместе с тем в силу рефлексивности $x_2 \in S_{x_2}$. Поэтому $S_{x_1} \neq S_{x_2}$, т. е. $Fx_1 \neq Fx_2$. Следовательно, $D(Fx_1,\ Fx_2)=0$. Таким образом, всегда $E(x_1,\ x_2)=D(Fx_1,\ Fx_2)$.

Доказанное утверждение дает нам следующий метод объективного решения вопроса о применимости модели эквивалентности для целей математического описания поведения испытуемого. Модель эквивалентности может служить адекватным математическим описанием поведения испытуемого в том и только том случае, если выполнены следующие два условия: 1) реакция испытуемого y однозначно определяется физическими стимулами x_1, x_2, иными словами, существует функция $y=E(x_1, x_2)$, математически описывающая поведение испытуемого; 2) функция E удовлетворяет требованиям рефлексивности, симметричности и транзитивности.

Применительно к рассматриваемому примеру требование однозначности реакции испытуемого означает, что при повторном предъявлении пары световых излучений x_1, x_2 испытуемый должен сформировать ту же реакцию y, что и при первом предъявлении. Практика колориметрических измерений показывает (см. напр. [1]), что при случайном выборе пар (x_1, x_2) реакция испытуемого почти всегда однозначна: он видит цвета полей либо постоянно различными, либо постоянно одинаковыми. Однако в небольшой части случаев, когда цвета полей сравнения находятся на границе между равенством и неравенством, ответ испытуемого становится случайным, и требование однозначности нарушается. Таким образом, вопреки свидетельству нашего внутреннего зрения, модель эквивалентности не может служить адекватным математическим описанием поведения испытуемого при сравнении цветов. Требование однозначности может быть принято лишь как некоторое приближение к действительности.

Требование рефлексивности означает, что на световые излучения одинакового спектрального состава испытуемый всегда должен реагировать положительным ответом, наблюдая равенство цветов полей сравнения. Требование симметричности означает, что перемена излучений местами не должна повлиять на характер ответа испытуемого: он должен либо оба раза ответить «да», либо оба раза — «нет». Требование транзитивности означает, что если излучения x_1, x_2 и x_2, x_3 испытуемый воспринимает в виде одинаковых цветов, то он должен увидеть одинаковыми по цвету и излучения x_1, x_3. Названные требования в эксперименте выполняются, однако не вполне строго. Они не точны уже хотя бы потому, что опираются на постулат о существовании функции E, который верен лишь приблизительно. Однако свойства рефлексивности, симметричности и транзитивности выполняются на практике с довольно высокой точностью и могут быть положены в основу построения приближе ного математического описания поведения испытуемого.

Таким образом, сведения, полученные при чисто бихевиор стическом обследовании испытуемого, позволяют приближен описывать его с помощью модели эквивалентности. Прав модель эта не имеет еще никакого психологического содерж ния. Ее переменные u_1, u_2 должны рассматриваться пока не к цвета, а как некоторые чисто служебные промежуточные си налы модели. Чисто бихевиористическое исследование пове ния испытуемого не дает нам права интерпретировать функци F как математическое описание процесса преобразования све вого излучения в цвет, осуществляемого органом зрения исп туемого. Пока эта функция фигурирует как некоторый вспом гательный математический объект, используемый для запи функции E, характеризующей поведение испытуемого. Для пс хологической интерпретации модели эквивалентности необхо мо привлечь данные интроспективного анализа, а именно, нуж постулировать, что цвета действительно существуют и что исп туемый действительно их между собой сравнивает. Тот, к не хочет пользоваться субъективными данными, должен дово ствоваться моделью эквивалентности без психологической и терпретации и рассматривать ее лишь как математическое оп сание объективно регистрируемого поведения испытуемого.

Из приведенных соображений следует, что если поведен испытуемого с определенной степенью приближения можно оп сать в виде некоторой функции $y=E(x_1, x_2)$ с областью опр деления A^2 и областью значений Σ и эта функция удовлетв ряет требованиям рефлексивности, симметричности и транзити ности, то с той же степенью точности можно математичес описать это поведение в виде модели эквивалентности (2 В этой модели фигурирует функция $u=Fx$ с областью опре ления A и областью значений B, которую назовем *характер стической функцией* модели эквивалентности.

Если бихевиористические данные дополняют интроспекти ным свидетельством испытуемого о том, что он формирует св ответ на основе сравнения двух компонентов ощущения, модель эквивалентности, кроме физической, допускает еще психологическую интерпретацию. В этом случае множество можно проинтерпретировать как совокупность всевозможн интересующих нас физических стимулов, способных воздейст вать на органы чувств испытуемого, а элементы x этого мн жества — как конкретные стимулы, предъявляемые испытуе му. Каждый элемент u множества B интерпретируем как св ство, которое приобретает ощущение испытуемого под дей вием одного из стимулов x. Множество B должно быть п интерпретировано как совокупность всевозможных таких свой ощущения, а функция F — как математическая характерист деятельности интересующего нас органа чувств испытуемо преобразующего физические стимулы x из множества A в соответствующие им свойства u ощущения.

Возникает задача отыскания вида характеристической функции F модели эквивалентности и ее области значений B. Решение этой задачи приведет к математическому описанию интересующего нас аспекта деятельности психофизической системы человека, в данном примере — преобразования зрительной системой светового излучения в цвет. Вместе с этим мы получаем также полную характеристику модели эквивалентности, описывающей соответствующее поведение испытуемого.

Таким образом, пара $<B, F>$ определяет единственную функцию E. Но справедливо ли обратное утверждение? Будет ли каждая функция E единственным образом определять пару $<B, F>$? Оказывается, нет. Существуют такие различные пары $<B', F'>$ и $<B'', F''>$, которые задают одну и ту же функцию E. Сформулируем необходимое и достаточное условие, при котором две пары $<B', F'>$ и $<B'', F''>$ определяют одну и ту же функцию E.

Две пары $<B', F'>$ и $<B'', F''>$ определяют одну и ту же функцию E в том и только том случае, если существует взаимно однозначная функция T с областью определения B' и областью значений B'' такая, что для всех $x \in A$ $F''x = TF'x$.

Докажем это утверждение. Предположим, что функция T существует, и докажем, что в этом случае функции $E'(x_1, x_2) = D(F'x_1, F'x_2)$ и $E''(x_1, x_2) = D(F''x_1, F''x_2)$ совпадают. Пусть $E'(x_1, x_2) = 1$, тогда $F'x_1 = F'x_2$, $TF'x_2 = TF'x_2$, $F''x_1 = F''x_2$, $E''(x_1, x_2) = 1$. Если же $E'(x_1, x_2) = 0$, то $F'x_1 \neq F'x_2$, $TF'x_1 \neq TF'x_2$, $F''x_1 \neq F''x_2$, $E''(x_1, x_2) = 0$. Следовательно, $E'(x_1, x_2) = E''(x_1, x_2)$.

Предположим теперь, что $E'(x_1, x_2) = E''(x_1, x_2)$, и докажем, что в этом случае существует функция $T: B' \to B''$ такая, что $F''x = TF'x$. Рассмотрим отношение $T \subseteq B' \times B''$, представляющее собой множество всех пар вида $<F'x, F''x>$, где x — любой элемент множества A. Покажем, что T есть взаимно однозначная функция. Действительно, пусть x_1 и x_2 таковы, что $F'x_1 = F'x_2$. Тогда $E'(x_1, x_2) = 1$, $E''(x_1, x_2) = 1$, $F''x_1 = F''x_2$. Если же $F''x_1 = F''x_2$, то $E''(x_1, x_2) = 1$, $E'(x_1, x_2) = 1$, $F'x_1 = F'x_2$. Таким образом, T есть биекция, причем $F''x = TF'x$. Заметим, что областью определения функции T служит область значений функции F', т. е. множество B', областью значений функции T служит область значений функции F'', т. е. множество B''.

Из доказанного утверждения непосредственно следует, что если функция $E(x_1, x_2)$ может быть представлена в виде (2), то она может быть представлена также и в виде модели эквивалентности

$$E(x_1, x_2) = D(TFx_1, TFx_2) \tag{4}$$

с характеристической функцией TF, где T — произвольно выбранная взаимно однозначная функция.

Из этого утверждения также вытекает, что если функци $E(x_1, x_2)$ может быть описана двумя различными моделям эквивалентности $E(x_1, x_2) = D(F_1x_1, F_1x_2) = D(F_2x_1, F_2x_2)$, т всегда найдется взаимно однозначная функция T, связывающа между собой характеристические функции F_1 и F_2 этих модел $F_2x = TF_1x$.

Здесь мы сталкиваемся с весьма любопытным обстоятел ством. Получается, что мы не можем указать единственно во можную характеристическую функцию F, описывающую, к пр меру, процесс преобразования зрительной системой челове светового излучения в цвет. Если для математического опис ния интересующего нас психофизического процесса подходи функция F, то для этой цели может быть также использован любая функция вида TF, где T — произвольно выбираемая вза имно однозначная функция. Выбор области значений характе ристической функции также в значительной степени произво лен, иными словами, свойства ощущения человека допускаю различные варианты математического описания. Это значит, примеру, что можно многими, причем совершенно равнопра ными способами, математически описывать один и тот же, на пример, красный, цвет зрительного ощущения.

Такая свобода в выборе математического описания понача лу, быть может, несколько обескураживает, она наводит н мысль, что нечто существенное в ощущении ускользнуло о нашего внимания. Казалось бы, должно быть истинным лиш одно математическое описание психофизического процесса, в же другие отличные от него описания должны быть ложным Некоторые исследователи даже предпринимали попытки най это «истинное» описание психофизического процесса среди мн гих возможных описаний (см. напр. [2]).

Между тем, произвол в выборе математического описан процессов имеется не только в психофизике, но и в физике, пр чем в психофизике он ничуть не больший, чем в физике. Та в физике одну и ту же температуру тела выражают в градус шкалы Цельсия и в градусах шкалы Кельвина, в некотор же случаях пользуются логарифмическими и другими вида функциональных шкал. Переход от одной системы обозначен температуры к другой регулируется вполне определенной вз имно однозначной кодирующей функцией, которая ставит в со ветствие одним обозначениям другие. Например, температу по шкале Кельвина t_k выражается через температуру по шк ле Цельсия $t_ц$ с помощью биекции $t_k = t_ц + 273°$.

Вводя в модель эквивалентности ту или иную взаимно од значную функцию T и изменяя тем самым математическое о сание психофизического процесса, мы меняем только систе обозначений, в которой ведется это описание. Ставить в пси физике задачу об отыскании истинного вида кодирующей фу ции T так же бессмысленно, как и в физике, поскольку з равносильно желанию найти некоторую «истинную» систему обозначений для математического описания того или иного процесса.

Приведенные соображения могут служить иллюстрацией справедливости критики В. И. Лениным «теории символов» Гельмгольца, «по которой ощущения и представления человека представляют из себя не копии действительных вещей и процессов природы, не изображения их, а условные знаки, символы, иероглифы и т. п.» [3, с. 218]. Согласно ленинской оценке, «Теория символов не мирится с ... материалистическим ... взглядом, ибо она вносит некое недоверие к чувственности, недоверие к показаниям наших органов чувств. Бесспорно, что изображение никогда не может всецело сравняться с моделью, но одно дело изображение, другое дело символ, *условный знак*. Изображение необходимо и неизбежно предполагает объективную реальность того, что «отображается». «Условный знак», символ, иероглиф суть понятия, вносящие совершенно ненужный элемент агностицизма» [3, с. 221].

На примере модели эквивалентности мы видим, что символы, обозначения не входят в математическую характеристику ощущения. Сущность ощущения не сводится к символу, условному знаку. Ощущение — это не иероглиф. Соответствующим выбором кодирующей функции T мы можем полностью изменить символьное представление ощущений, однако их математическое описание по существу останется прежним. Но что же в таком случае представляет собой ощущение? Ощущение — это, действительно, изображение. Оно представляет собой образ и физического стимула x при отображении F. Функция F переносит часть структуры множества A физических объектов, действующих на органы чувств человека, на множество B его ощущений. Структура множества B гомоморфна структуре множества A. Структура эта не зависит от выбора символики, именно она является объективной характеристикой предметов внешнего мира. Ощущения — это копии действительных вещей и процессов природы, поскольку они несут в себе частичку их математической структуры, доносят до нашего сознания часть свойств физических предметов. Благодаря этому человек может черпать из своих ощущений информацию о предметах окружающего его внешнего мира.

Возвратимся к задаче математического описания преобразования светового излучения в цвет. Нас интересует теперь следующий вопрос: всегда ли испытуемый различает по цвету световые излучения различного спектрального состава. Опыт показывает, что далеко не всегда. Существует множество резко различающихся по спектральному составу излучений, которые воспринимаются испытуемым как одинаковые цвета. Такие неразличимые по цвету световые излучения называют метамерными. Существование метамерных излучений доказывает, что орган зрения доставляет нашему сознанию не всю, а толь часть информации о световых излучениях, действующих на се чатку глаза. Опираясь только лишь на показания своей зр тельной системы и не прибегая к помощи специальных приб ров для спектрального анализа света, человек бессилен ра личить метамерные излучения. Таким образом, оказывается, ч свет имеет более тонкую структуру, чем та структура, котор доносит до сознания человека его орган зрения.

Зафиксируем некоторое световое излучение x_0 и потребуе чтобы $E(x_0, x)=1$, т. е. чтобы излучение x совпадало по цве с излучением x_0. Множество всевозможных излучений x, удо летворяющих этому требованию, образует некоторый кла эквивалентности S_x. Каждому цвету соответствует собственн класс эквивалентности. Вместе взятые эти классы образу некоторое разбиение S множества A всех световых излучени В качестве математической характеристики цвета, возбужда мого в сознании испытуемого световым излучением x, мож взять класс эквивалентности S_x, содержащий данное излу ние x. Множеству всех цветов соответствует множество вс классов эквивалентности разбиения S множества A.

Таким образом, если испытуемый сравнивает между соб компоненты u_1, u_2 ощущения $<u_1, u_2>$ и формируемый им результате этого сравнения ответ y может быть представл как значение некоторого предиката эквивалентности $y=E($ $x_2)$ на множестве A, то эти данные могут служить достаточн основанием для математического описания сигналов u_1, u_2 виде классов эквивалентности S_{x_1}, $S_{x_2} \in A/E$, причем $x_1 \in S$ $x_2 \in S_{x_2}$. Имеется в виду, что ощущение $<u_1, u_2>$ возбуждает физическим стимулом $<x_1, x_2>$.

Изложенные соображения дают практический рецепт отыск ния характеристической функции $u=Fx$ модели эквивалентно $y=D(Fx_1, Fx_2)$ по известному предикату эквивалентности y $=E(x_1, x_2)$. Нужно, перебирая всевозможные физические с мулы $x \in A$, отыскать для каждого из них класс эквивале ности S_x. С помощью произвольным образом выбираемой ко рующей функции $u=TS_x$ каждому классу S_x ставим во взаим однозначное соответствие некоторый символ u. В качестве хар теристической функции $u=Fx$ берем множество всевозможн пар $<x, u>$.

Проиллюстрируем описанный способ построения функции примером. Пусть $A=\{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$ и предикат E за табл. 1. Проверкой убеждаемся, что предикат E рефлекси симметричен и транзитивен, следовательно, он может быть пр ставлен в виде модели эквивалентности. Для каждого x отыс ваем соответствующий ему класс эквивалентности S_x, составл ный из таких x_0, что $E(x, x_0)=1$ (табл. 2). Как видим, имею всего три различных класса эквивалентности $\{0, 2\}$, $\{1, 4$ и $\{3\}$, объединение которых совпадает с множеством A. Вво множество $B = \{\alpha, \beta, \gamma\}$, состоящее из трех символов (по числу классов эквивалентности), и кодирующую функцию $u = TS_x$, присваивающую каждому классу S_x обозначение u (табл. 3). Исключая из табл. 2, 3 промежуточную переменную S_x, получаем искомую характеристическую функцию модели эквивалентности $u = Fx$ (табл. 4).

Таблица 1

x_2 \ x_1	0	1	2	3	4	5
0	1	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	1	1
2	1	0	1	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0
4	0	1	0	0	1	1
5	0	1	0	0	1	1

$E(x_1, x_2)$

Таблица 2

x	0	1	2	3	4	5
S_x	{0, 2}	{1, 4, 5}	{0, 2}	{3}	{1, 4, 5}	{1, 4, 5}

Таблица 3

S_x	{0, 2}	{1, 4, 5}	{3}
u	α	β	γ

$T(S_x)$

Таблица 4

x	0	1	2	3	4	5
u	α	β	α	γ	β	β

$F(x)$

Описанный метод представляет исчерпывающее решение задачи математического описания психофизических процессов, формализуемых с помощью модели эквивалентности, однако область его практического применения ограничена. Дело в том, что здесь используется полный перебор всех физических стимулов, фигурирующих в задаче, который принципиально неосуществим, если множество A бесконечно. Правда, любое множество физических стимулов теоретически можно считать конечным, поскольку средства, с помощью которых мы формируем эти стимулы, всегда имеют конечную разрешающую способность. Однако число стимулов, различаемых физическими приборами, может оказаться настолько большим (например, множество всех световых излучений, видимых глазом), что их полный перебор будет практически невыполним.

Как упоминалось, многие психофизические процессы могут быть с той или иной степенью точности аппроксимированы моделью эквивалентности. К ним относятся процессы формирования цвета, яркости, насыщенности и тона зрительного ощущения, громкости, тембра и высоты слухового ощущения, процессы формирования ощущения давления и ощущения температуры, вкусового и обонятельного ощущения и многие другие психофизические процессы. Некоторые из них могут быть исследованы на базе модели эквивалентности даже несколькими различными приемами. Один из таких приемов основан на сравнении двух одновременно воспринимаемых компонентов ощущения. Он дает, как правило, наиболее точные результаты, именно он был описан в рассмотренном выше примере преобразования светового излучения в цвет. Другой прием основан на сравнении непосредственно сменяющих друг друга во времени двух компонентов ощущения. Используя этот прием, мы могли бы, к примеру, следующим образом организовать изучение преобразования светового излучения в цвет. Испытуемому предъявляется одно равномерно окрашенное поле, цвет u_1 которого возбуждается световым излучением x_1. В некоторый момент времени излучение x_1 скачкообразно сменяется излучением x_2, формирующим на том же поле цвет u_2. Задача испытуемого состоит в том, чтобы определить, остался ли цвет поля прежним или же изменился. В случае равенства цветов испытуемый, несмотря на смену излучений, не замечает абсолютно никаких перемен цвета на поле. Цвета считаются различными, если испытуемый замечает на поле мелькание в момент смены светового излучения. Третий прием основан на предварительном запоминании некоторого компонента ощущения и последующем сравнении с ним соответствующего компонента ощущения, возбуждаемого интересующим нас физическим стимулом. Сравнение по памяти обычно дает наименее точные результаты, причем точность уменьшается с ростом интервала времени между моментами запоминания и сравнения. При изучении преобразования светового излучения в цвет по памяти испытуемый должен предварительно запомнить некоторый цвет. Затем испытуемому предъявляются различные световые излучения x, которые он делит на два класса: излучения, цвет которых совпадает с заданным цветом, и все остальные излучения. Этим способом выявляются классы S_x метамерных излучений.

Список литературы: 1. *Мешков В. В.* Основы светотехники. Ч. 2. Физиологическая оптика и колориметрия. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961. 416 с. 2. *Нюберг Н. Д.* Определение положения в цветовом треугольнике основного синего цвета.— «Докл. АН СССР», 1949, т. XV, № 2. 3. *Ленин В. И.* Материализм и эмпириокритицизм. М., Госполитиздат, 1967. 383 с.