

ИНЖЕНЕРНАЯ ПСИХОЛОГИЯ И ПСИХОЛОГИЯ ТРУДА

ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦВЕТОВОГО КОДИРОВАНИЯ НА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДИСПЛЕЯХ

© 1999 г. **А. Н. Боярский***, **В. В. Лапа****, **А. А. Обознов*****

** Науч. сотрудник Гос. НИИ авиакосмической медицины, Москва*

*** Доктор мед. наук, профессор, ведущий науч. сотрудник того же ин-та*

**** Канд. психол. наук, ст. научный сотрудник, ИП РАН*

Рассматриваются результаты экспериментального исследования эффективности цветового кодирования сигналов, отображаемых на многофункциональном дисплее. Установлено, что использование цвета в качестве дополнительной категории кодирования по-разному соотносится с качеством профессиональных задач. Повышение результативности наблюдалось лишь в усложненных условиях приема и переработки информации, в том числе при ограниченном резерве времени, высокой плотности символов, их небольшой различимости между собой по форме и размеру. Полученные результаты связываются с различными проявлениями избыточности психического образа.

Ключевые слова: цветовое кодирование, зрительный поиск, зрительное опознание, многофункциональные дисплеи, операторская деятельность, психический образ.

При проектировании сложных эргатических систем широкое применение находят многофункциональные дисплеи (на базе моно- и полихроматических электронно-лучевых трубок, жидких кристаллов), позволяющие отображать информацию практически в любом объеме и виде. Данное обстоятельство определяет постоянный интерес разработчиков к выбору оптимальных способов индикации многомерных сигналов, включая их цветовое кодирование.

Согласно экспериментальным данным, накопленным в инженерной психологии, информация о цвете в процессе восприятия человеком-оператором многомерных сигналов воспринимается раньше, чем их ахроматические признаки [5, 11]. Считается, что восприятие цвета осуществляется автоматически, без сознательного контроля [1] и параллельно по всему информационному полю, тогда как ахроматические сигналы последовательно [13]. Высказывается предположение, что в задачах информационного поиска заданного тест-объекта цвет является доминирующим опорным признаком на первичном этапе обработки многомерных сигналов и обеспечивает зрительное выделение лишь тех символов, которые идентичны или близки тест-объекту по цвету [3]. Приведенные данные можно рассматривать в качестве аргументов в пользу цветового кодирования перед ахроматическим.

Анализ исследований по вопросу эффективности использования цветового кодирования на авиационных дисплеях показал, что добавление

цвета к ахроматическим кодирующим признакам далеко не всегда приводило к улучшению показателей качества профессиональной деятельности, хотя операторы оценивали многоцветный дисплей по сравнению с монохроматическим как не только более “привлекательный и эстетичный”, но и субъективно облегчавший решение выполнявшихся ими задач [6]. Поэтому с точки зрения повышения качества деятельности указанное преимущество цветового кодирования перед ахроматическим следует рассматривать как потенциальное, реализация которого опосредуется влиянием ряда разнопорядковых факторов, в том числе возможностями зрительного анализатора человека, содержанием решаемых им задач, характеристиками информационного поля, условиями внешней среды, техническими параметрами дисплеев по воспроизведению цвета и другими [8, 10, 14]. Необходимо учитывать и взаимоотношение знаков внутри алфавита по признаку сходства-различия [9].

Неоднозначность влияния цветового кодирования на показатели качества операторской деятельности определяет актуальность проведения исследований для обоснования цветового кодирования на многофункциональных дисплеях.

По литературным сведениям, цветовое кодирование на дисплеях наиболее эффективно при его использовании в различительной, отличительной, сигнальной и группирующей функциях [12]. В различительной функции цвет используется для улучшения различимости символов меж-

ду собой, например, в случае их наложения друг на друга, а в *отличительной* — для выделения отдельных символов на фоне изображений высокой плотности. Использование цвета в *сигнальной* функции ясно из названия: цвет служит сигналом для привлечения внимания к значимому или опасному событию. Наконец, цвет используется для *группировки* (объединения) символов, имеющих общую смысловую нагрузку, т.е. в функции “организатора” отображаемой на дисплее информации.

Независимо от указанных функций следует выделять варианты *основного* и *дополнительного* цветового кодирования. В первом варианте с помощью цвета на экране дисплея кодируется некоторая самостоятельная информация, не отображаемая с помощью ахроматических кодирующих признаков. Цветовое кодирование применяется как основное, главным образом, в сигнальной функции (“норма–не норма”, “включено–выключено” и т.п.). Во втором варианте цветовое кодирование не несет самостоятельной информации и “добавляется” к ахроматическим категориям кодирования (форме, размеру, ориентации и другим) с целью обеспечения наилучшего обнаружения, различения и опознавания сигналов на дисплее. Дополнительное цветовое кодирование применяется главным образом в различительной, отличительной и организующей функциях.

Цель нашего исследования состояла в выявлении условий и факторов, определяющих взаимозависимость между использованием *дополнительного* цветового кодирования на дисплеях и показателями качества операторской деятельности.

МЕТОДИКА

Проведено три серии экспериментов. В экспериментах *первой* серии изучались процессы поиска и опознавания тест-объекта на экране электронного дисплея. Варьировались: форма тест-объекта (“кольцо” или “крест”); его размеры (12, 24, 50 и 80 угловых минут); цвет тест-объекта и других символов (при полихроматическом варианте свечения тест-объект индигировался в красном, а остальные символы — в желтом и зеленом цвете; при монохроматическом варианте цвет тест-объекта и остальных символов был зеленым); плотность символов на экране (5, 10 и 15 символов); время экспозиции (2.0, 1.2, 0.6 и 0.2 с). Задача оператора состояла в том, чтобы произвести поиск тест-объекта и выполнить управляющее действие, соответствующее положению тест-объекта на экране дисплея. Критериями оценки служили время поиска заданного тест-объекта и количество ошибок (число пропусков и неправильных реагирований). Для определения значимости влияния каждой из варьируемых экспериментальных переменных (цвет, форма и размер тест-объекта, плотность информации, время экспозиции) и их сочетаний на время и точность поиска заданного тест-объекта применялся дисперсионный анализ.

Во *второй* серии экспериментов, проводившихся на моделирующем стенде динамического объекта, изучалась эффективность использования цвета в различительной функции при выполнении человеком оператором задачи двумерного слежения. Оператор удерживал с помощью ручки управления подвижную метку (кольцо) на неподвижном перекрестии в центре дисплея. Отображаемая на нем информация высвечивалась в двух вариантах: монохроматическом, когда все символы индигировались в зеленом цвете, и двухцветном, когда подвижная метка и перекрестие индигировались в красном, а все остальные символы — в зеленом цвете. Высвечиваемые символы четко различались между собой по форме; их плотность на дисплее равнялась семи. Одновременно с задачей слежения операторы выполняли задачу опознавания двух заданных цифр из набора однозначных цифр, предъявлявшихся на счетчике, расположенном рядом с дисплеем. В *подсерии А* операторы должны были опознавать заданные цифры без ущерба для точности слежения. В *подсерии Б* инструкция обязывала операторов не пропускать ни одной из заданных цифр и вместе с тем с максимальной возможной точностью решать задачу слежения. Таким образом, по сравнению с подсерией А в подсерии Б резерв времени для решения задачи слежения был ограниченным. Точность слежения оценивалась по величине дисперсии ошибки слежения в боковом (ΔX) и продольном (ΔY) каналах управления.

В экспериментах *третьей* серии исследовалась эффективность использования цветового кодирования в его организующей функции. На полунатурном стенде динамического объекта моделировались сложные пространственные положения (СП) самолета. Задача операторов состояла в выполнении действий по выводу самолета из СП, используя для этого отображаемые на дисплее сигналы о пространственном положении объекта. Сравнивались два варианта свечения дисплея. В монохроматическом варианте все символы и шкалы высвечивались в зеленом цвете; в двухцветном варианте в красном цвете высвечивались те символы и шкалы, которые требовали первоочередного внимания операторов. Оценивались время принятия решения (от ввода СП до начала первого управляющего решения) и количество “срывов” деятельности, вызванных отклонениями параметров за допустимые ограничения.

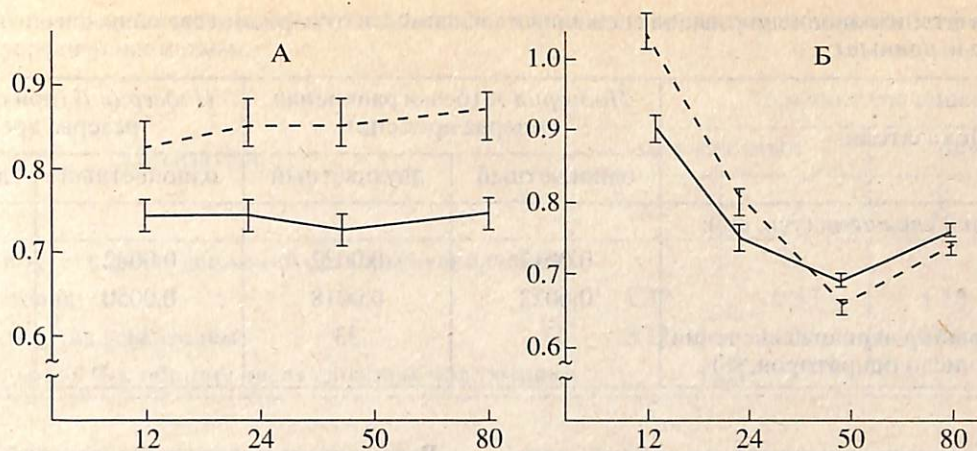
В каждой серии экспериментов операторы выносили субъективные оценки о предпочтении сравниваемых вариантов кодирования информации на дисплее.

Операторы, участвовавшие в исследовании (от 8 до 16 человек в разных сериях), имели прочные навыки слежения и управления динамическим объектом на моделирующем стенде.

Всего в эксперименте приняло участие 28 человек.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Эксперименты *первой* серии были направлены на выявление тех условий предъявления информации на дисплее, при которых использование цвета в качестве дополнительного кодирующего признака (полихроматический вариант) имеет явное преимущество перед монохроматическим кодированием.



Время поиска тест-объектов “кольцо” (поз. А) и “крест” (поз. Б) в зависимости от их размеров и варианта свечения дисплея.

По оси абсцисс – размер тест-объекта, угл. мин; по оси ординат – время поиска ($\bar{X} \pm m$), с. Сплошная линия – полихроматический, штриховая – монохроматический дисплей.

Из данных табл. 1 следует, что по мере возрастания плотности символов на экране дисплея наблюдается общая тенденция к увеличению времени поиска тест-объекта. При этом использование полихроматического варианта по сравнению с монохроматическим существенно улучшало характеристики поиска тест-объекта “крест” и не оказывало положительного влияния на аналогичные характеристики при поиске “кольца”. Выявлены достоверные ($p < 0.01$) различия времени поиска между поли- и монохроматическим вариантами кодирования тест-объекта “крест” при всех градациях его угловых размеров (рисунк). Для тест-объекта “кольцо” аналогичные различия отмечены только при самом малом значении его угловых размеров (12 угл. мин).

С помощью дисперсионного анализа установлено, что статистически достоверное влияние

($p < 0.05$) на время поиска тест-объекта оказывали следующие факторы: *цвет* свечения (30% объясненной дисперсии); *время экспозиции* и *размер* тест-объекта (по 19.7% объясненной дисперсии на каждый фактор); *форма* тест-объекта (3% объясненной дисперсии). Установлено статистически значимое влияние ($p < 0.05$) на время поиска взаимодействия следующих факторов: *Форма* $\times$ *Размер* (10.3% объясненной дисперсии); *Цвет* $\times$ *Форма* (6% объясненной дисперсии); *Цвет* $\times$ *Размер* (3% объясненной дисперсии).

На основании экспериментальных данных первой серии можно сделать вывод: использование цвета в качестве дополнительного кодирующего признака существенно улучшало показатели поиска тест-объекта на экране многофункционального дисплея по сравнению с монохроматическим вариантом, однако степень этого улучшения

Таблица 1. Показатели поиска тест-объекта в зависимости от варианта свечения дисплея, формы тест-объекта и плотности символов на экране (усредненные данные)

Вариант свечения	Форма тест-объекта	Количество символов на экране (плотность)		
		5	10	15
Монохроматический	“Крест”	$\frac{0.69/0.08}{3.9}$	$\frac{0.79/0.12}{6.1}$	$\frac{1.02/0.22}{7.9}$
	“Кольцо”	$\frac{0.68/0.09}{4.3}$	$\frac{0.77/0.12}{4.6}$	$\frac{0.90/0.20}{9.3}$
Полихроматический	“Крест”	$\frac{0.72/0.10}{3.6}$	$\frac{0.96/0.25}{7.9}$	$\frac{1.20/0.28}{12.1}$
	“Кольцо”	$\frac{0.67/0.08}{3.9}$	$\frac{0.76/0.13}{10.4}$	$\frac{0.92/0.24}{12.8}$

Примечание. В числителе – время поиска (с), $\bar{X}$ и σ ; в знаменателе – относительное количество ошибок (%).

Таблица 2. Показатели выполнения задачи слежения в зависимости от варианта свечения дисплея и резерва времени (усредненные данные)

Показатели	Подсерия А (без ограничения резерва времени)		Подсерия Б (при ограничении резерва времени)	
	одноцветный	двухцветный	одноцветный	двухцветный
Дисперсия ошибки слежения (усл. ед.):				
ΔX	0.0017	0.0022	0.0042	0.0036
ΔY	0.0022	0.0018	0.0050	0.0037
Субъективный выбор варианта свечения (относительное число операторов, %)	67	33	33	67

зависела от плотности символов на экране, длительности экспозиции, от формы и размера тест-объекта. Признак цвета улучшал качество поиска в случаях, когда затруднялось зрительное выделение других, ахроматических признаков.

Например, если тест-объект хорошо различался по форме от других символов на экране дисплея (в наших экспериментах таким тест-объектом было "кольцо"), то дополнительное использование признака цвета для его кодирования улучшало показатели скорости и точности поиска лишь при небольших угловых размерах "кольца" (12 угл. мин.). При последующем возрастании угловых размеров "кольца" (в наших экспериментах – до 24 угл. мин. и более) его дополнительное кодирование цветом не приводило к увеличению скорости и точности поиска по сравнению с монохроматическими кодирующими признаками. Напротив, при плохой различимости по форме тест-объекта от других символов (в наших экспериментах таким тест-объектом был "крест") его дополнительное кодирование цветом улучшало "выходные" показатели поиска и опознания при всех градациях углового размера. Иначе говоря, дополнительное кодирование цветом "креста" компенсировало его низкую различимость по таким ахроматическим признакам, как форма и размер.

Итак, в задаче поиска тест-объекта его дополнительное цветное кодирование оказывалось эффективным в условиях, затруднявших зрительное выделение монохроматических кодирующих признаков (малый размер и плохо различимая форма тест-объекта, короткие экспозиции, большая плотность символов на экране дисплея). Напротив, в условиях оптимального размера и хорошо различимой формы тест-объекта, достаточного резерва времени и невысокой плотности символов дополнительное кодирование тест-объекта цветом оказывалось "индифферентным", т.е. не приводило к улучшению показателей времени и точности поиска по сравнению с монохроматическим кодированием.

Рассмотрим результаты *второй* серии экспериментов, в которых изучалась отличительная функция цветового кодирования при решении задачи сенсомоторного слежения. Как видно из табл. 2 в *подсерии А*, т.е. при достаточном резерве времени для решения задачи слежения, величина ошибки слежения не зависит от варианта свечения дисплея. Иначе говоря, дополнительное выделение красным цветом символов слежения (подвижной метки и неподвижного перекрестия) не повышало точности слежения, а по субъективным отчетам большинства операторов – не облегчало зрительного выделения этих символов из информационного поля дисплея. Мы объясняем полученный факт тем, что на этом дисплее обеспечивались благоприятные условия для зрительного выделения символов слежения по монохроматическим признакам, в том числе: невысокая плотность символов, их хорошая различимость между собой по форме и размеру, достаточный резерв времени. В таких условиях использование дополнительного цветового кодирования символов становилось "индифферентным" для повышения точности задачи слежения.

В *подсерии Б* при ограниченном резерве времени точность решения задачи слежения снижается как при использовании моно-, так и двухцветного дисплея, однако степень снижения оказывалась различной: при использовании двухцветного дисплея величина дисперсии ошибок слежения ΔX и ΔY меньше по сравнению с монохроматическим на 14 и 26% соответственно (различия, близкие к статистически достоверным). При этом анализ индивидуальных результатов позволил установить, что у половины операторов величина ΔY при использовании двухцветного дисплея достоверно меньше ($p < 0.05$ по критерию Фишера), чем монохроматического. Интересно, что в *подсерии Б* диаметрально противоположным образом изменились субъективные предпочтения операторов: если в *подсерии А* две трети из них делали выбор в пользу монохроматического дисплея, то в *подсерии Б*, напротив, две трети тех же операторов считали, что дополнительное кодирова-

Таблица 3. Показатели действий операторов по выводу из сложного положения в зависимости от варианта свечения дисплея (усредненные данные)

Показатели	Вариант свечения			
	одноцветный		двухцветный	
	$\bar{X}$	σ	$\bar{X}$	σ
Латентный период (с) первых движений органами управления:				
ручкой управления	1.37	0.50	1.18	0.29
рычагом управления двигателем	2.12	1.32	1.46	0.44
Количество срывов (в % к общему числу сложных положений)	12.5		5.0	

ние красным цветом символов слежения позволяло им быстрее “схватывать” их взаимное расположение после очередного отвлечения внимания на решение задачи опознания заданных цифр. Следовательно, ограничение резерва времени при прочих неизменных факторах (плотность символов на дисплее, их форма и размер) приводило к изменению роли цвета для результативности решаемой задачи слежения: из “индифферентного” кодирующего признака при достаточном резерве времени (подсерия А) он переходил в разряд эффективных (подсерия Б).

Результаты экспериментов *третьей* серии показали, что применение цветового кодирования в его организующей функции улучшало выходные характеристики действий операторов в сложных пространственных положениях. Использование двухцветного дисплея по сравнению с монохроматическим в таких положениях приводило к статистически достоверному сокращению ($p < 0.01$ по Т-критерию) времени первого управляющего движения органами управления и уменьшению количества срывов деятельности (табл. 3). По субъективным отчетам операторов, высвечивание в красном цвете только тех символов, которые наиболее значимы для принятия решения в сложном положении, способствовало их смысловому объединению и ускоряло оценку сложного положения.

Итак, основной результат третьей серии совпадает с результатами предыдущей: при ограниченном резерве времени использование цвета в качестве дополнительного кодирующего признака являлось эффективным, т.е. повышало качество решавшихся задач.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного нами цикла экспериментальных исследований позволяют считать, что использование дополнительного цветового кодирования на многофункциональных дисплеях по-разному соотносится с качеством решаемых при этом профессиональных задач. Его *эффек-*

тивное использование, приводившее к улучшению выходных характеристик деятельности по сравнению с монохроматическим кодированием, проявлялось в усложненных условиях приема и переработки информации, в частности, при ограниченном резерве времени, высокой плотности символов, их небольшой различимости между собой по форме и размеру. *Индифферентное* использование дополнительного цветового кодирования, не улучшавшее выходных показателей по сравнению с монохроматическим, наблюдалось при достаточном резерве времени, невысокой плотности символов, их хорошей различимости между собой по форме и размеру, т.е. при оптимальном применении ахроматических категорий кодирования. Судя по субъективным отчетам операторов, они отдавали однозначное предпочтение полихроматическому дисплею в усложненных, а во многих случаях – и в обычных условиях деятельности. По оценкам операторов, наличие цвета на дисплее позволяло им действовать более уверенно и в тех, и в других условиях.

При объяснении полученных данных мы исходили из фундаментального тезиса о регулирующей роли психического образа и деятельности человека [2]. Неоднозначная эффективность использования цвета в качестве дополнительной категории кодирования связывается нами с различными проявлениями избыточности психического образа, обеспечивающего регуляцию и реализацию действий оператора [4].

В психическом образе, как правило, отражается больше признаков, свойств и отношений окружающей обстановки, чем необходимо человеку для выполнения конкретных действий. То есть, психическое отражение по своей информационной емкости является избыточным; при этом часть информации, отражаемой в психическом образе, может превратиться в затрудняющий действие балласт [7]. Примером избыточного отражения могут служить следующие данные: при задаче опознавать многомерные стимулы только по одному заданному признаку испытуемые все равно называли и irrelevantные признаки сти-

мулов [3]. В этой же работе показано, что классификация объектов по форме существенно затруднялась с введением в стимульный материал дополнительного (иррелевантного) признака цвета, поскольку испытуемые непроизвольно пытались перейти от классификации по признаку формы к классификации по цвету.

Полученные нами результаты дают основание считать, что психическое отражение операторами признака цвета, избыточного в обычных условиях, при их усложнении положительно влияло на выходные характеристики деятельности и сохраняло необходимое качество ее выполнения. В усложненных условиях операторы в полной мере использовали потенциальные преимущества цветового кодирования перед ахроматическим.

Поскольку возникновение условий, затрудняющих процессы приема и переработки информации, для операторских профессий является скорее правилом, чем исключением, то дополнительное использование цвета на многофункциональных дисплеях желательно даже при оптимально выбранных ахроматических категориях кодирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глезер В.Д. Зрение и мышление. Л.: Наука, 1985.
2. Завалова Н.Д., Ломов Б.Ф., Пономаренко В.А. Образ в системе психической регуляции деятельности. М.: Наука, 1986.
3. Зинченко Т.П. Оpoznание и кодирование. Л.: Изд-во ЛГУ, 1981.
4. Лапа В.В., Обознов А.А., Боярский А.Н. Избыточность психического образа и эффективность операторской деятельности // Психический образ: строение, механизмы, формирование и развитие. М.: Ин-т психологии РАН, 1994. Т. 1. С. 135–136.
5. Ломов Б.Ф. Человек и техника. М.: Сов. радио, 1966.
6. Обознов А.А., Боярский А.Н., Бутурлин А.И. Психофизиологические аспекты цветового кодирования пилотажно-навигационной информации на бортовых электронных индикаторах // Космич. биология и авиакосмич. медицина. 1986. № 4. С. 16–19.
7. Ошанин Д.А. Концепция оперативности отражения в инженерной и общей психологии // Инженерная психология. Теория, методология, практическое применение. М.: Наука, 1977. С. 134–149.
8. Пэдхэм Ч., Сондерс Дж. Восприятие света и цвета. М.: Мир, 1978.
9. Тутушкина М.К. Психологические основы кодирования зрительной информации для человека-оператора. Автореф. на соиск. уч. ст. докт. психол. наук. Л., 1982.
10. Хеландер М. Разработка визуальных средств отображения информации // Человеческий фактор / Под ред. Салвенди Г. М.: Мир, 1992. Т. 5. С. 116–221.
11. Christ R.E. Review and analysis of color coding research for visual displays // Human factors. 1975. V. 17. № 6. P. 542–570.
12. Krebs M.G., Wolf A.D. Design principles for the use of color in displays // Proc. of the SID. First Quarter. 1979. V. 20. № 1. P. 33–37.
13. Luder C.B. Redundant color coding in air born CRT displays // Human factors. 1984. V. 26. № 1. P. 19–32.
14. Walrath L.C., Hunter M.W. Color Versus Monochrome Displays // SAE Techn. Pap. Ser. 1990. № 90921.

PSYCHOLOGICAL SUBSTANTIATION OF COLOR CODING IN MULTIFUNCTIONAL DISPLAYS

A. N. Boyarsky*, **V. V. Lapa****, **A. A. Oboznov*****

* Res. ass. of State scientific research experimental institute MD RF (aerospace medicine), Moscow

** Dr. sci. (medicine), professor, leading res. ass. of State scientific research experimental institute MD RF (aerospace medicine), Moscow

*** Cand. sci. (psychology), sen. res. ass., IP RAS, Moscow

The experimental study of efficacy of color coding of signals indicated at multifunctional displays is considered. It was obtained that using of color as additional category of coding is differently correlated with quality of professional tasks. The increase of efficacy is observed only in complicated conditions of receiving and re-making of information including tasks limited in time, with high density of symbols, their low discriminability by form and dimensions. These results are related to different expressions of redundancy of mental image.

Key words: color coding, visual search, visual recognition, multifunctional displays, operator's activity, mental image.