

ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АДАПТИВНЫХ СРЕДСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

© 2001 г. А. А. Обознов

Канд. психол. наук, старший научный сотрудник ИП РАН, Москва

Приводятся результаты теоретического обоснования и экспериментальной проверки адаптивных средств отображения информации (АСОИ), используемых для обеспечения надежного восприятия сигналов человеком-оператором при воздействии экстремальных факторов. Установлено, что с помощью АСОИ возможно компенсировать снижение чувствительности зрительной сенсорной системы и обеспечить надежное восприятие сигналов при воздействии перегрузок “голова–таз” величиной до 8 ед. Определена область условий, в которых целесообразно применение АСОИ.

Ключевые слова: человек-оператор, отображение информации, условия рабочей среды, контрастная чувствительность, оперативные пороги.

Операторские задачи, связанные с управлением подвижными объектами (наземными, воздушными, космическими, морскими аппаратами и т.п.), выполняются, как правило, в нестабильных условиях, величина и скорость изменения которых предъявляют жесткие требования к приспособительным возможностям человека-оператора (Ч-О). Крайние значения изменений, находящиеся на границе врожденных и приобретенных адаптивных возможностей организма либо их превосходящие, принято называть *экстремальными факторами* [16].

Результаты экспериментальных исследований и наблюдений свидетельствуют о существенных затруднениях в восприятии сигналов, которые испытывает Ч-О под влиянием экстремальных факторов. Например, после ослепления интенсивной вспышкой света летчик на некоторое время перестает различать приборные показания. Он переживает конфликт между острой необходимостью продолжать пилотирование и невозможностью управлять самолетом из-за отсутствия информации о пространственном положении. Тревога за исход полета становится преобладающей и подавляет все остальные ощущения [6]. Аналогичные трудности возникают под воздействием пилотажных перегрузок “голова–таз”, когда из-за зрительных нарушений типа “серой” и “черной” пелены восприятие сигналов, необходимых для выполнения полетного задания, существенно затрудняется или становится невозможным [1, 4].

Ближайшей причиной рассматриваемых затруднений является снижение чувствительности сенсорных систем, обусловленное непосредственным воздействием на них экстремальных факто-

ров [10, 11]. Так, по данным У.П. Уайта, воздействие перегрузки $+G_z = 3$ ед. приводит к снижению абсолютной чувствительности центрального зрения человека по сравнению с обычными условиями почти в 2 раза, а $+G_z = 4$ ед. – в 3.4 раза. Примерно в той же степени снижается абсолютная чувствительность периферического зрения [14]. Снижение контрастной чувствительности зрительной системы на 50–60% по отношению к фоновому уровню, вызванное воздействием перегрузки $+G_z$, во всех случаях сопровождается падением остроты зрения до 0.6 и начальными проявлениями “серой” пелены [3].

В связи с вышеизложенным актуальной является разработка адаптивных средств отображения информации (АСОИ), позволяющих изменять пространственно-энергетические характеристики сигналов (размер, яркость, цвет и др.) в зависимости от условий операторской деятельности [13]¹. С помощью АСОИ возможно компенсировать снижение чувствительности сенсорных систем Ч-О и обеспечить надежное восприятие сигналов при воздействии экстремальных факторов, в частности перегрузок “голова–таз” величиной до 8 ед. включительно [8]. Вместе с тем имеющихся данных еще недостаточно для окончательного решения о целесообразности практического применения АСОИ.

Задачи данного исследования заключаются, во-первых, в психофизиологическом обосновании АСОИ и экспериментальной проверке эффективности их применения для обеспечения надежного восприятия Ч-О визуальных сигналов

¹ Одним из первых идею о целесообразности применения адаптивных индикаторов (динамических алфавитов для сигналов) сформулировал Б.Ф. Ломов [9].

при воздействии экстремальных значений перегрузки +Gz (“голова–таз”) и, во-вторых, в оценке эффективности применения АСОИ с точки зрения влияния на точностные и временные показатели операторской деятельности.

1. ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ АСОИ

В ходе психофизиологического обоснования применения АСОИ необходимо рассмотреть следующие вопросы: 1) Какую именно характеристику сигнала (яркостный контраст, угловые размеры и т.п.) следует изменять? 2) Каким должен быть исходный уровень и диапазон изменения этой характеристики? 3) По каким командам изменять выбранную характеристику сигнала?

1. В качестве характеристики, подлежащей адаптации, нами был выбран *яркостный контраст* символов, посредством которых отображаются сигналы. Выбор этой характеристики определялся приводимыми выше данными о том, что при воздействии перегрузки +Gz снижается контрастная чувствительность зрительного анализатора, лежащая в основе предметного восприятия. В пользу такого выбора свидетельствовали сведения в литературе о том, что снижение контрастной чувствительности зрительного анализатора, вызванное воздействием перегрузок, до некоторой степени можно компенсировать за счет увеличения физической яркости сигнала [7].

2. Следующий вопрос состоял в определении *исходного уровня* яркостного контраста символов и *диапазона* его увеличения. При его решении мы опирались на понятие оперативного порога, используемого в отечественной инженерной психологии [12]. Исходя из зонной модели порогов К.В. Бардина [2], оперативный порог следует рассматривать как протяженную область пространственно-энергетических характеристик (ПЭХ) сигналов, начиная с которой обеспечивается оптимальное, т.е. устойчивое, безошибочное и максимально быстрое различение сигналов между собой, с одной стороны, и с фоном – с другой. Важно отметить, что при значениях ПЭХ выше области оперативного порога дальнейшего улучшения показателей точности и скорости различения сигналов уже не наблюдается [9]. Понятно, что исходный уровень яркостного контраста должен быть не ниже области оперативного порога. В противном случае положительный эффект увеличения яркостного контраста очевиден заранее и не требует проведения специальной экспериментальной проверки. В соответствии с требованиями нормативных документов, оперативному порогу соответствует область яркостного контраста в границах $K = 0.4–0.6$. В качестве исходного уровня яркостного контраста нами принят $K = 0.6$.

Для определения *диапазона* увеличения яркостного контраста А.И. Бутурлин и И.Г. Овечкин провели специальную серию экспериментов на центрифуге. Согласно полученным результатам, для сохранения приемлемой видимости сигналов в условиях воздействия экстремальных значений перегрузки +Gz (до 8 ед. включительно) требовалось, по субъективным оценкам испытуемых, увеличение яркостного контраста с $K = 0.6$ до $K = 0.9$.

3. При решении вопроса об управляющей команде для адаптивного увеличения яркостного контраста нами рассматривались два варианта.

В одном из них изменение яркостного контраста могло осуществляться по команде, формируемой в момент появления зрительных нарушений. Основная трудность состояла в том, что существующие методы оценки состояния зрительного анализатора не позволяют с необходимой точностью и надежностью диагностировать момент наступления зрительных нарушений в реальном масштабе времени.

В другом варианте командой для увеличения яркости могла служить текущая величина перегрузки. Использование этой команды опирается на установленную статистическую связь между величиной перегрузки и снижением контрастной чувствительности зрительного анализатора [1, 3, 4]. Доводом в пользу данного варианта является возможность его практического применения. Мы использовали оба варианта управляющих команд.

Рассмотренные вопросы не исчерпывают всех моментов, которые необходимо учитывать при разработке АСОИ, но они являются достаточными для проведения экспериментальной проверки предположения, что за счет увеличения яркостного контраста символов возможно обеспечить их надежное восприятие при воздействии экстремальных значений перегрузки +Gz.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АСОИ МЕТОДИКА

Эксперименты проводились на динамическом моделирующем комплексе, созданном на базе центрифуги и обеспечивавшем возможность решения операторских задач при воздействии экстремальных значений перегрузки +Gz.² Рабочее место оператора находилось в кабине центрифуги и включало в себя кресло с педалями для ног, двухкоординатную ручку и другие органы управления, электронный индикатор для отображения сигналов, необходимых для решения оператор-

² Исследование осуществлялось на стендовой базе Государственного научно-исследовательского испытательного института авиационной и космической медицины по инициативе академика РАО В.А. Пономаренко. Вращения на центрифуге проводил ведущий врач-экспериментатор Д.Ю. Архангельский.

ских задач. Угловые размеры экрана индикатора составляли $13,6^\circ \times 9^\circ$. На индикаторе в зеленом цвете высвечивались подвижная метка (кольцо диаметром 40 угл. мин), неподвижное перекрестие (в центре экрана), которое по своим размерам точно "вписывалось" в кольцо, и другие символы.

Уровень внешней освещенности в плоскости экрана индикатора был постоянным и составлял 900 лк. Светотехнические характеристики индикатора обеспечивали возможность увеличения яркостного контраста высвечиваемых символов до $K = 0,9$.

Яркостный контраст рассчитывался по формулам:

$$K = \frac{L_o - L_f}{L_o} \quad \text{и} \quad L_f = Q\phi \frac{E}{\pi}, \quad \text{где}$$

K – величина яркостного контраста, отн. ед.; L_o – измеренная яркость символов с учетом дополнительной яркости от внешнего освещения, кд/м²; L_f – измеренная яркость фона индикатора, величина которой определяется с учетом наложенной яркости от внешнего освещения, кд/м; $Q\phi$ – коэффициент отражения фона индикатора; E – внешняя освещенность, лк.

Проведено две серии исследований.

В 1-й серии проводилась экспериментальная проверка исходного предположения о том, что за счет увеличения яркостного контраста визуальных сигналов возможно компенсировать ухудшение их видимости, возникающее вследствие зрительных нарушений под воздействием перегрузки +Gz.

Задание испытуемых состояло в *обнаружении визуального сигнала*. Требовалось определить местоположение кольца, которое в случайной последовательности высвечивалось в одном из 4-х квадрантов экрана. Ответ давался с помощью двух кнопок, расположенных под пальцами левой руки. При обнаружении кольца в левой части экрана нажималась кнопка, расположенная под средним пальцем, в правой части – под указательным.

Зрительные нарушения провоцировались с помощью методического приема, разработанного совместно с Д.Ю. Архангельским. Центрифуга разгонялась до перегрузки +Gz = 7 ед. В первой половине каждого вращения испытуемые выполняли задание по обнаружению кольца при напряжении мышц ног и живота, что препятствовало возникновению зрительных нарушений. В середине вращения испытуемые, прервав задание, уменьшали мышечное напряжение до появления у себя симптомов "серой" пелены, о чем сообщали экспериментатору посредством условленного сообщения (нажатие на кнопку). После этого они вновь приступали к выполнению задания обнаружения сигнала, стараясь сохранять уменьшенное мышечное напряжение ног и живота. Таким образом, во второй половине вращения, в отличие от первой, испытуемые выполняли задание на фоне специально спровоцированных зрительных нарушений.

В *основных* экспериментах сразу после сообщения испытуемых о появлении у них зрительных нарушений яркостный контраст всех символов одномоментно увеличивался с $K = 0,6$ до $K = 0,9$ и оставался таковым до конца вращения. В *контрольных* экспериментах после аналогичного сообщения испытуемых значение $K = 0,6$ не изменялось (табл. 1).

Сравнение между собой результатов выполнения задачи обнаружения сигналов в основных и контрольных экспериментах позволяло установить, действительно ли увеличение яркостного контраста символов компенсировало ухудшение их видимости, вызванное зрительными нарушениями и снижением контрастной чувствительности зрительного анализатора.

В 1-й серии приняли участие трое испытуемых, имевших длительный опыт вращения на центрифуге, знакомых с проявлениями у себя "серой" пелены и владевших навыками ее преодоления. В ходе одного вращения каждый испытуемый выполнял задание по обнаружению метки 10 раз, в том числе 5 раз в первой половине вращения и столько же – во второй. Время одного вращения составляло 45–60 с.

Таблица 1. План проведения экспериментов в 1-й серии исследований

Тип экспериментов	1-я половина вращения (мышечное напряжение)	2-я половина вращения (мышечное расслабление, симптомы "серой" пелены)
Основные	$K = 0,6$	$K = 0,9$
Контрольные	$K = 0,6$	$K = 0,6$

K – величина яркостного контраста, отн. ед.

Всего в 1-й серии тремя испытуемыми выполнено 60 заданий по обнаружению метки.

Во 2-й серии проводилась экспериментальная оценка увеличения яркостного контраста символов с точки зрения его влияния на показатели точности и времени выполнения задачи дискретного слежения, типичной для операторской деятельности. Ее решение заключалось в максимально точном и быстром наложении подвижной метки (кольца) на перекрестие с помощью ручки управления и включало два последовательных этапа. Первый – ориентировочный, от появления метки в одном из квадрантов индикатора до начала движения ручкой управления; второй – исполнительный, от начала управляющих движений до наложения метки на перекрестие. Момент наложения метки сигнализировался испытуемым нажатием на кнопку, расположенную на ручке управления.

Командой для увеличения яркостного контраста служила текущая величина перегрузки +Gz. В *основных* экспериментах в процессе разгона центрифуги осуществлялось увеличение яркостного контраста с $K = 0,6$ до $K = 0,9$ линейно нарастающей перегрузке +Gz. Значение $K = 0,9$ достигалось к моменту выхода на заданную перегрузку +Gz = 2,5 или 8 ед. и сохранялось до конца вращения. В *контрольных* экспериментах яркостный контраст не изменялся и задача дискретного слежения в течение всего периода вращения выполнялась при $K = 0,6$.

В исследованиях 2-й серии испытуемые в течение всего времени вращения (45–60 с) должны были поддерживать мышечное напряжение ног и живота, а также выполнять "дыхательные маневры", повышавшие устойчивость организма к воздействию перегрузки +Gz и препятствовавшие возникновению зрительных нарушений.

Таким образом, содержание экспериментального задания и условия его выполнения в этой серии исследований максимально приближались к реальным.

Во 2-й серии приняли участие четверо испытуемых (из них трое участвовали в 1-й серии). Каждый испытуемый выполнял задачу дискретного слежения пять раз при каждом экспериментальном условии. Всего ими выполнено 160 задач дискретного слежения.

В исследованиях 1-й и 2-й серии регистрировались: величина и время воздействия перегрузки; время и правильность обнаружения сигнала (1 серия); время и точность поэтапного выполнения задачи дискретного слежения (2 серия); субъективные отчеты испытуемых, включая оценку видимости символов по 7-балльной биполярной шкале (от –3 до +3).

Все испытуемые, принимавшие участие в исследованиях, были добровольцами, в возрасте 18–21 года, не имели отклонений в состоянии здоровья, обладали опытом вращений на центрифуге и сформированными навыками решения операторских задач при воздействии экстремальных значений перегрузки +Gz.

Таблица 2. Субъективные оценки зрения при моделировании "серой" пелены (перегрузка +Gz = 7 ед., индивидуальные данные)

Субъективные отчеты и оценки	Основные эксперименты (с увеличением яркостного контраста)		Контрольные эксперименты (без увеличения яркостного контраста)	
	Первая половина вращения K = 0.6	Вторая половина вращения K = 0.9	Первая половина вращения K = 0.6	Вторая половина вращения K = 0.6
1. Оператор С. Субъективный отчет	Нарушений зрения нет	Признаков "пелены" не было, хотя появилось чувство усталости.	Нарушений зрения нет.	Появилась "пелена", зрение "сузилось".
Оценка по шкале	+3	+3	+3	+2
2. Оператор Д. Субъективный отчет	Нарушений зрения нет	После расслабления появилась "пелена", при повышении яркости она исчезла. Стал различать цифры.	Нарушений зрения нет.	Появилась "дымка". Цифры не различал, но метку видел.
Оценка по шкале	+2	+3	+2	-2
3. Оператор М. Субъективный отчет	Зрение затуманено	После расслабления появилась "дымка", видимость была плохой, видел отдельные зоны индикатора.	Зрение затуманено	После расслабления почти ничего не видел, метку обнаруживал интуитивно.
Оценка по шкале	-1	-2	-1	-3

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты 1-й серии. Как следует из табл. 2, использованный нами методический прием действительно позволил спровоцировать зрительные нарушения, типичные для воздействия экс-

тремальных значений перегрузки +Gz. Судя по субъективным оценкам испытуемых, увеличение яркостного контраста символов в основных экспериментах, происходившее непосредственно в момент появления зрительных нарушений, приводило к улучшению видимости метки по сравнению с контрольными вращениями, в которых яркостный контраст не изменялся.

Объективным подтверждением этих оценок явились результаты времени обнаружения сигнала ($T_{обн.}$) в основных экспериментах в сравнении с контрольными (рис. 1). Индивидуальные значения $T_{обн.}$ в первой половине контрольных и основных вращений статистически достоверно не различались, что объясняется идентичностью экспериментальных условий в данный период. Поэтому значения $T_{обн.}$, полученные в первой половине контрольных и основных вращений, были объединены и усреднены для каждого испытуемого. Результаты, зафиксированные во второй половине вращений, были проанализированы по двум линиям.

Во-первых, оценивались доминирующие тенденции в сдвигах индивидуальных значений $T_{обн.}$ во второй половине основных и контрольных вращений, когда у испытуемых намеренно вызывались зрительные нарушения, по сравнению с первой, где такие нарушения не провоцировались.

После появления спровоцированных зрительных нарушений в контрольных экспериментах зафиксированы сдвиги в сторону увеличения $T_{обн.}$, а в основных – в противоположном направлении (см. рис. 1). Так, во второй половине контрольного вращения у исп. М. зафиксировано увеличение $T_{обн.}$ в среднем на 23%, а основного – уменьшение в среднем на 43% ($p < 0.05$). Та же картина наблюдалась и исп. Д., хотя в данном случае сдвиги $T_{обн.}$ оказались статистически недостоверными. Лишь у исп. С. наблюдалось увеличение $T_{обн.}$ во второй половине не только контрольного, но и

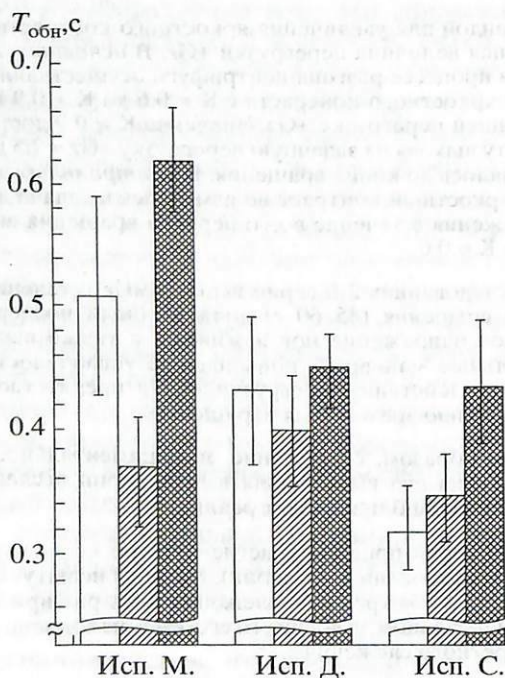


Рис. 1. Время обнаружения ($T_{обн.}$) сигнала при моделировании "серой" пелены в зависимости от величины яркостного контраста K.

Перегрузка +Gz = 7 ед. Данные, усредненные для каждого испытуемого (X и σ).

Незаштрихованные столбики – 1-я половина вращения в основных и контрольных экспериментах;

одинарная штриховка – 2-я половина вращения в основных экспериментах, K = 0.9;

двойная штриховка – 2-я половина вращения в контрольных экспериментах, K = 0.6.

основного вращения. Однако в первом случае Тобн. увеличилось в среднем на 37% ($p < 0.05$), а в последнем – всего на 9%, что статистически недостоверно.

Во-вторых, проводилось прямое сравнение между собой значений Тобн., зафиксированных во второй половине контрольных и основных экспериментов. При таком сравнении значение Тобн. было существенно ниже в основных вращениях, чем в контрольных, в том числе: для исп. М. – в среднем на 43% ($p < 0.05$), исп. С. – на 21%, исп. Д. – на 11%. В среднем по группе испытуемых значение Тобн. во второй половине основных вращений было на 23% меньше, чем в контрольных ($p < 0.05$).

Таким образом, сравнение результатов основных и контрольных экспериментов показало, что адаптивное изменение яркостного контраста символов в период снижения чувствительности зрительного анализатора (вторая половина основных вращений) позволило предотвратить снижение времени обнаружения сигнала, наблюдавшееся в контрольных вращениях.

Результаты 2-й серии. Данные о времени поэтапного выполнения задачи дискретного слежения в основных и контрольных экспериментах представлены в табл. 3.

Как следует из данных табл. 3, в основных экспериментах по сравнению с контрольными наблюдалась тенденция к более быстрому выполнению задачи дискретного слежения. Выраженность указанной тенденции тем сильнее, чем больше величина воздействующей перегрузки +Gz. При перегрузке +Gz = 8 ед. выигрыш во времени в основных экспериментах сравнительно с контрольными составил в среднем 0.7 с, или 27% ($p < 0.05$).

Анализ поэтапного времени решения показал, что это различие связано с более быстрым выполнением исполнительного этапа задачи. Время выполнения ориентировочного этапа в основных и контрольных экспериментах не различалось. Подобное объяснение данного результата обусловлено, на наш взгляд, тем, что в исследованиях 2-й серии увеличение яркостного контраста символов проводилось на фоне выполнения испытуемыми защитных приемов, направленных на предотвращение зрительных нарушений, т.е. от поддержания мышечного напряжения ног, брюшного пресса и осуществления “дыхательных маневров”. Из-за цикличности дыхания выполнение защитных приемов носило фазный характер, причем фаза максимальных мышечных усилий, совпадавшая с периодом выдоха, неизбежно чередовалась с фазой их ослабления, совпадавшей с периодом вдоха. Длительность ориентировочного этапа занимала не более 0.5 с, т.е. не превышала длительности фазы максимальных усилий, когда зрительные нарушения у испытуемых, как правило, отсутствовали.

Таблица 3. Время (с) поэтапного выполнения задачи дискретного слежения в зависимости от уровня яркостного контраста (К) и величины перегрузки +Gz. Усредненные данные для 4-х испытуемых (в числителе – X, в знаменателе – σ)

Величина перегрузки + Gz	К = 0.6		К = 0.9	
	Ориентир. этап	Исполнит. этап	Ориентир. этап	Исполнит. этап
Фон перед вращениями (1 ед.)	0.48 0.23	1.42 0.49	0.44 0.13	1.47 0.47
2 ед.	0.42 0.15	1.66 0.61	0.35 0.12	1.65 0.48
5 ед.	0.41 0.21	1.96 0.52	0.34 0.14	1.74 0.57
8 ед.	0.38 0.22	2.57 1.03	0.38 0.21	1.89* 0.65

* Различия между К = 0.6 и К = 0.9 статистически достоверно ($p < 0.05$).

Исполнительный этап требовал от испытуемых непрерывного зрительного контроля за меткой в течение 2-х и более секунд, что превышало длительность фазы максимальных усилий. В данный период вероятность появления зрительных нарушений возрастала, поэтому именно на этом этапе увеличение яркостного контраста символов способствовало улучшению видимости метки и тем самым сокращению времени выполнения задачи дискретного слежения.

Таким образом, результаты 2-й серии показали, что задача дискретного слежения в условиях воздействия экстремальных значений перегрузки +Gz выполнялась быстрее при яркостном контрасте символов К = 0.9, чем при К = 0.6. Различий в точности выполнения задачи дискретного слежения в основных и контрольных вращениях не установлено.

Итак, проведенная экспериментальная проверка в целом подтвердила обоснованность исходного предположения о том, что за счет увеличения яркостного контраста визуальных символов возможно компенсировать ухудшение их видимости, возникающее вследствие снижения чувствительности зрительного анализатора под воздействием перегрузки +Gz. Увеличение яркостного контраста символов, обеспечивая их надежное восприятие, положительно сказывалось на времени выполнения задачи дискретного слежения.

3. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АСОИ

При рассмотрении области применения АСОИ будем использовать показатель $T \times C$, который определяется как произведение частных показателей точности и скорости восприятия сигнала [15].

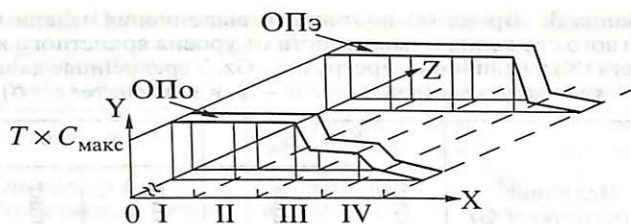


Рис. 2. Область применения адаптивных средств отображения информации.

По оси X – условия рабочей среды: I – обычные; II – дискомфортные; III – экстремальные; IV – сверхэкстремальные.

По оси Z – величина яркостного контраста K.

ОП_о – область оперативного порога в обычных условиях, $K = 0.4-0.6$;

ОП_э – область оперативного порога в экстремальных условиях, $K > 0.9$.

По оси Y – уровень показателя $T \times C$ (усл. ед.). $T \times C_{\text{макс}}$ – максимально возможный уровень в обычных условиях.

В силу ограниченности психофизиологических возможностей сенсорных систем существует максимально возможный уровень этого показателя – $T \times C_{\text{макс}}$. В зависимости от требований профессиональной задачи может быть определен заданный уровень $T \times C$, который не должен превышать $T \times C_{\text{макс}}$.

По критерию интенсивности воздействия на Ч-О в инженерной психологии принято выделять 4 диапазона условий рабочей среды, определяющих проявление его психофизиологических функций, включая сенсорные [12].

В диапазоне *обычных* условий значения воздействующего фактора не превышают своих средних величин. В этом диапазоне создаются благоприятные возможности для проявления всех функций сенсорной системы. Перцептивное выделение релевантных сигналов (при условии соответствия их пространственно-энергетических характеристик области оперативного порога) осуществляется на основе врожденных и автоматизированных программ. Ресурсы осознанного уровня (произвольного внимания) могут использоваться для приема дополнительной информации. Показатель $T \times C$ находится на максимально возможном уровне либо близок к нему (рис. 2).

В диапазоне *дискомфортных* условий значения воздействующего фактора превышают свои средние границы, но еще не достигают своих крайних, экстремальных величин. Такое воздействие вызывает нарушения в обычном функционировании сенсорных систем. Однако снижение психофизиологических возможностей сказывается прежде всего по отношению к нерелевантным, дополнительным сигналам. Показатель $T \times C$ для релевантных сигналов за счет мобилизации адаптивных ресурсов сенсорной системы и произ-

вольного внимания снижается незначительно или даже остается на прежнем, т.е. максимальном уровне. Вместе с тем дополнительные сигналы воспринимаются с задержкой либо вовсе пропускаются.

В диапазоне *экстремальных* условий значения воздействующего фактора достигают крайних величин, что приводит к такому снижению чувствительности сенсорной системы, при котором поддержание показателя $T \times C$ для релевантных сигналов на максимальном уровне становится невозможным даже при предельной мобилизации ресурсов произвольного внимания.

В диапазоне *сверхэкстремальных* условий значения воздействующего фактора выходят за границы величин, предельно допустимых для функционирования сенсорной системы. Появляются нарушения предпатологического и патологического характера, вследствие чего перцептивное выделение признаков (например, формы, размера, цвета и др.), необходимых для восприятия релевантных сигналов, становится крайне затруднительным либо невозможным. Показатель $T \times C$ стремится к нулю.

С точки зрения эффективности применения АСОИ можно выделить две области условий рабочей среды.

Одна область включает диапазоны обычных, дискомфортных, а также сверхэкстремальных условий (см. рис. 2). В этой области применение адаптивных СОИ *неэффективно* по следующим соображениям. В обычных условиях оптимальными являются те значения ПЭХ сигналов, которые соответствуют оперативному порогу. Увеличение значений ПЭХ сверх оперативного порога не имеет практического смысла, поскольку оно не приводит к повышению показателя $T \times C$. В дискомфортных условиях изменения в функционировании сенсорных систем компенсируются за счет мобилизации как их собственных адаптивных ресурсов, так и ресурсов произвольного внимания. В итоге воздействие факторов рабочей среды в этих диапазонах не влияет на стабильность показателя $T \times C$ для релевантных сигналов. Например, несмотря на изменения в широких пределах факторов внешней освещенности, показатели процесса приема информации поддерживаются на стабильном уровне [5].

Неэффективность применения АСОИ в сверхэкстремальных условиях связана с иными причинами. В таких условиях нарушения в функционировании сенсорной системы столь значительны, что приводят к потере предметного восприятия и уже не могут компенсироваться за счет адаптивного изменения ПЭХ сигналов.

Другая область, в которой применение АСОИ следует считать *эффективным*, включает диапазон экстремальных условий. Переход в эти усло-

вия, хотя и сопровождается падением чувствительности сенсорных систем и снижением показателя $T \times C$, еще не влечет за собой утрату предметного восприятия. Поскольку приспособительные возможности самих сенсорных систем и произвольного внимания оказываются исчерпанными, то посредством адаптивного изменения ПЭХ сигналов удается в значительной мере компенсировать падение чувствительности сенсорной системы и поддерживать стабильность показателя $T \times C$.

Поясним это на примере нашего исследования. В обычных условиях величина яркостного контраста должна находиться в границах $K = 0.4-0.6$, что соответствует области оперативного порога для зрительного анализатора. Величина яркостного контраста $K > 0.6$ является избыточно оптимальной. Однако при попадании в экстремальные условия абсолютный, а вместо с ним и оперативный порог повышается. Графически это выражается в виде смещения границ области оперативного порога зрительного анализатора в сторону $K > 0.6$. Увеличение яркостного контраста символов до $K = 0.9$ соответствует новым границам области оперативного порога и позволяет стабильно поддерживать показатель $T \times C$ для релевантных сигналов на максимальном или близком к нему уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обоснование и разработка способов, обеспечивающих надежное восприятие человеком-оператором сигналов в разнообразных условиях рабочей среды, является одной из важнейших задач инженерной психологии. В связи с этим можно указать на два взаимодополняющих подхода к определению пространственно-энергетических характеристик сигналов, обеспечивающих их надежное восприятие.

При одном подходе величины ПЭХ считаются оптимальными, если они соответствуют значениям областей оперативных порогов сенсорных систем в обычных условиях и обеспечивают достижение максимально возможного уровня показателя $T \times C$. Установленные таким образом оптимальные величины ПЭХ остаются неизменными в течение всего времени деятельности. При таком подходе делается допущение, что в изменяющихся условиях стабильность показателя $T \times C$ может обеспечиваться за счет приспособительных ресурсов сенсорных систем и произвольного внимания человека-оператора. Данный подход оправдывает себя при выполнении операторской деятельности в обычных и дискомфортных условиях. Однако при попадании в экстремальные условия эти ресурсы исчерпываются и не обеспечивают максимального уровня показателя $T \times C$.

Другой подход опирается на идею "усиления" приспособительных ресурсов сенсорной системы за счет адаптивного изменения ПЭХ сигналов. Такое изменение, осуществляемое непосредственно по ходу деятельности, позволяет компенсировать нарушения в функционировании сенсорных систем, возникающие в экстремальных условиях, и поддерживать стабильный максимальный уровень показателя $T \times C$.

Основной итог проведенного исследования состоит в экспериментальном подтверждении эффективности второго подхода для обеспечения надежного восприятия сигналов человеком-оператором при воздействии экстремальных факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиационная медицина / Под ред. Н.П. Рудного, П.В. Васильева, С.А. Гозулова. М.: Медицина, 1986.
2. Бардин К.В. Проблема порогов чувствительности и психофизические методы. М.: Наука, 1976.
3. Вартбаронов Р.А., Ешанов Н.Х., Котовская А.Р., Суворов Н.М. Изменение функции зрения при действии перегрузок // Авиакосмическая медицина / Под ред. В.В. Парина, И.М. Хазина. М.: ИМБП, 1971. Т. 3. С. 71-84.
4. Васильев П.В., Котовская А.Р. Длительные линейные и радиальные ускорения // Основы космической биологии и медицины / Под ред. О.Г. Газенко, М.Кальвина. М.: Наука, 1975. Т. 2. Кн. 2. С. 177-231.
5. Венда В.Ф., Зазыкин В.Г. Проблема стабильности характеристик систем "человек-машина" // Психол. журн. 1982. Т. 3. № 5. С. 82-96.
6. Жернавков В.Ф., Карелина Л.Н., Петров Ю.П. Психофизиологические особенности восприятия оператором летчика при кратковременном воздействии интенсивных световых стимулов // Космич. биол. и авиакосмич. мед. 1978. № 4. С. 27-31.
7. Инженерная психология в применении к проектированию оборудования / Под ред. К.Т. Моргана, А. Чапаниса и др. М.: Машиностроение, 1971.
8. Лапа В.В., Обознов А.А., Незнанов В.И. Психофизиологические особенности восприятия оператором сигналов с изменяемой яркостью и угловыми размерами в условиях перегрузок "голова-таз" // Материалы XXI Гагаринских научных чтений по авиации и космонавтике. Секция: Проблемы авиакосмической медицины и психологии. М.: Институт психологии АН СССР, 1991. С. 103-105.
9. Ломов Б.Ф. Человек и техника. М.: Сов. Радио, 1966.
10. Медведев В.И. Устойчивость физиологических и психологических функций человека при действии экстремальных факторов. Л.: Наука, 1982.
11. Медведев В.И. Экстремальные состояния человека в процессе деятельности // Медведев В.И., Аверьянов В.С., Айдараллиев А.А. и др. Физиология

- трудовой деятельности. СПб.: Наука, 1993. С. 153–160.
12. Основы инженерной психологии / Под ред. Б.Ф. Ломова. М.: Высшая школа, 1986.
 13. Пономаренко В.А., Лапа В.В. Проблема информационного управления надежностью летчика в особых условиях деятельности // Космич. биол. и авиакосмич. мед. 1989. № 2. С. 16–21.
 14. Савин В.М. Гипервесомость и функции центральной нервной системы. Л.: Наука, 1970.
 15. Фоули П., Моури Н. Ощущение, восприятие и проектирование систем // Человеческий фактор / Под ред. Г. Салвенди. М.: Мир, 1991. Т. 1.
 16. Экологическая физиология человека. Адаптация человека к экстремальным условиям среды. М.: Наука, 1979.

ENGINEERING-PSYCHOLOGICAL ASSESSMENT OF ADAPTIVE MEANS TO REFLECT INFORMATION

A. A. Oboznov

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

The results of theoretical and experimental examination of adaptive means to reflect information used to ensure operator's reliable perception of signals under extreme factors influence are adduced. It is established that using named means it is possible to recompense the decreasing of visual system sensibility and to ensure reliable perception of signals under "head-pelvis" overload (up to 8 units). The acceptable field of circumstances to apply adaptive means to reflect information is determined.

Key words: man-operator, adaptive means to reflect information, conditions of working place, contrast sensibility, working thresholds.