

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОМПОНОВКИ ПРИБОРОВ НА БЩУ АЭС НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОСПРИЯТИЯ ИНФОРМАЦИИ

А.Н. Анохин, Е.Н. Алонцева

Обнинский институт атомной энергетики, г. Обнинск



Целью настоящей работы является экспериментальный сравнительный анализ времени и безошибочности восприятия приборов, скомпонованных различными способами. Исследовались упорядоченная по форме приборов, упорядоченная по функциональному назначению приборов, неупорядоченная, выделенная и последовательная (раздробленная на небольшие порции) компоновки. В экспериментах участвовали 135 студентов и аспирантов ИАТЭ. Получены следующие основные выводы. Последовательная компоновка повышает надежность и увеличивает время восприятия. Графическое выделение приборов позволяет почти на треть сократить время восприятия по сравнению с невыделенной компоновкой. Неупорядоченная компоновка чревата высокой вероятностью ошибки. Функциональная организация информации неэффективна в условиях отсутствия предметных знаний. Горизонтальный принцип компоновки более предпочтителен, чем вертикальный. В процессе восприятия испытуемый считывает около половины всей информации при упорядоченной компоновке и более 70% – при неупорядоченной.

Эффективное представление информации на щитах управления сложными технологическими объектами является классической задачей, решаемой специалистами по эргономике при проектировании человеко-машинного интерфейса. При решении этой задачи исследуются два аспекта: *семантический*, направленный на создание посредством щита управления информационной модели, адекватной реальному объекту, и *синтаксический*, направленный на придание этой модели внешнего вида, удобного для быстрого и безошибочного восприятия информации человеком-оператором. К *синтаксическим* аспектам представления информации обычно относятся два: кодирование информации и компоновка средств отображения информации (СОИ). Рассмотрим их более подробно.

Способы и параметры кодирования информации исторически одними из первых составили предмет исследования отечественных и зарубежных эргономистов (в основном, в военной технике). Еще в 60-80-е гг. были опубликованы [1, 2] справочные данные, содержащие эргономические требования к таким параметрам кодирования информации как модальность сигнала, длина алфавита, форма знака и др. Примерно в то же время были разработаны требования к СОИ, например, к угловым размерам, форме, ориентации и типу шкалы и др.

В меньшей степени решались вопросы компоновки СОИ, составляющие междисциплинарную область – на стыке эргономики и художественного конструирования. Эргономистами и специалистами в области дизайна создана теория композиции в технике, составными элементами которой являются средства и свойства (характеристики) композиции [1, 3], требования к форме и размеру рабочего пространства оператора [1, 4]. В то же время в эргономической литературе практически отсутствуют данные о сравнительной оценке и качестве тех или иных композиционных решений. Одним из немногочисленных критериев качества таких решений, упоминаемым в литературе, является соответствие размещения СОИ порядку обращения к ним оператора.

Сегодня проблемы компоновки СОИ остро проявляются в ряде областей операторской деятельности. Исследования деятельности операторов блочного (БЩУ) и других щитов управления АЭС [5] показали в частности, что недостатки компоновки СОИ на БЩУ и компьютерных мониторах способны усугубить нештатную ситуацию и даже спровоцировать стрессовые состояния операторов.

Эргономический анализ БЩУ АЭС, как правило, выявляет следующие недостатки компоновки СОИ: приборы не упорядочены по форме и содержанию, важные приборы не выделены, часть информации предъявляется последовательно (проблема «замочной скважины»). Эти и другие недостатки компоновки составляют предмет настоящего исследования, целью которого является экспериментальная сравнительная оценка эффективности восприятия оператором информации при различных компоновочных решениях.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследованию подлежали СОИ, типичные для БЩУ АЭС, а именно:

- 1) стрелочные приборы с круговой и секторной (дуговой) шкалами;
- 2) приборы с вертикальной и горизонтальной линейными шкалами со статическим или динамическим указателем (узкопрофильные приборы со световым «зайчиком»);
- 3) табло технологической сигнализации;
- 4) одноканальные самописцы с линейной шкалой и подвижной лентой;
- 5) приборы с цифровой индикацией.

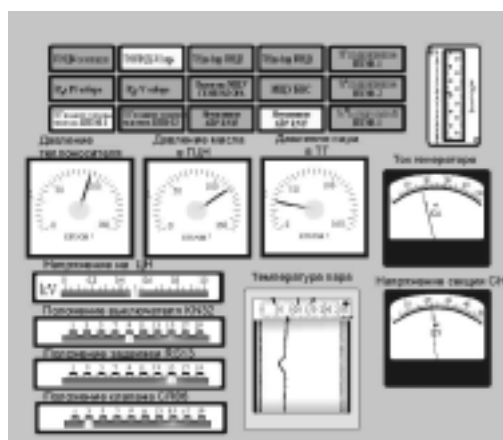
Цель эксперимента состояла в определении и сравнительном анализе *скорости и безошибочности восприятия* визуальных фрагментов, воспроизводящих перечисленные выше СОИ в различной компоновке. Были сконструированы следующие фрагменты:

1) фрагмент (**«упорядоченный по форме»**), содержащий 26 композиционно упорядоченных по типу и по форме СОИ, большинство из которых выстроены горизонтально (рис. 1,а);

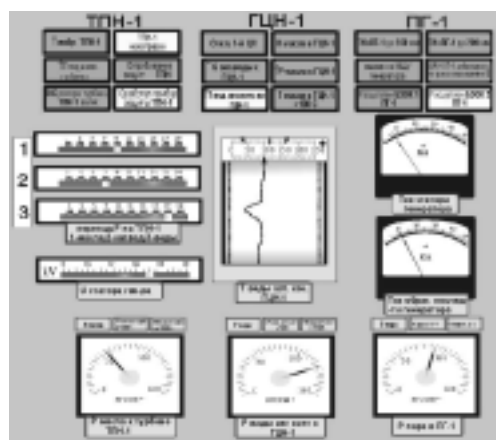
2) фрагмент (**«упорядоченный структурно»**), содержащий 28 СОИ, упорядоченных по типу, форме и структурному принципу (рис. 1,б) (упорядочение по типу и форме состоит в расположении на одной горизонтали однородных по типу и форме СОИ; упорядочение по структурному принципу предполагает разделение БЩУ на вертикальные панели, каждая из которых предназначена для отображения состояния определенного оборудования или технологической системы – именно такая компоновка применяется на существующих БЩУ [6,7]);

3) фрагмент (**«неупорядоченный»**), содержащий 24 хаотически «разбросанных» СОИ (рис. 1,в);

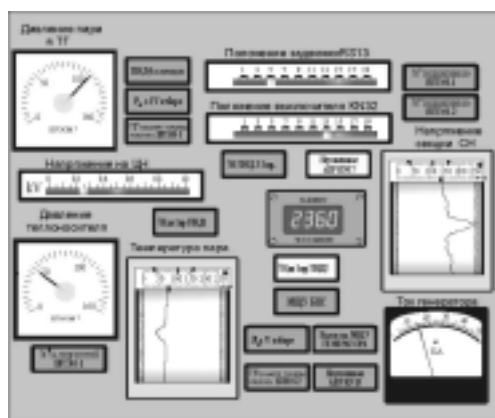
4) фрагмент (**«выделенный»**), содержащий 25 хаотически «разбросанных» СОИ, четыре из которых – нужные – выделены (обведены ярко красным контуром) (рис. 1,г).



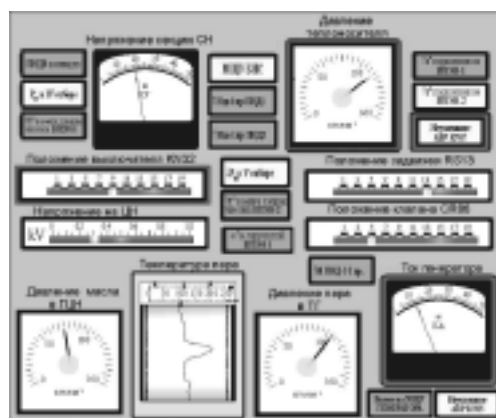
а)



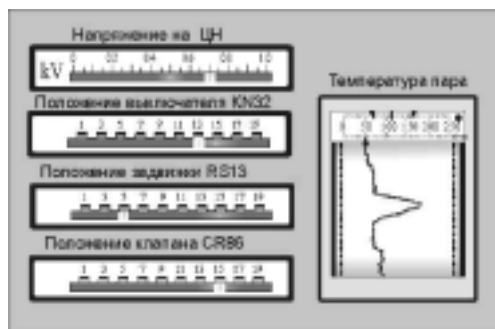
б)



в)



г)



д)

Рис. 1. Фрагменты, воспроизводящие различные принципы компоновки СОВ: а – упорядоченный по форме, б – упорядоченный структурно, в – неупорядоченный, г – выделенный, д – последовательный

5) фрагмент («последовательный»), состоящий из трех, последовательно предъявляемых частей, каждая из которых содержит СОИ только одного типа; этот фрагмент максимально облегчает восприятие информации, но при этом имитирует эффект «замочной скважины» (рис. 1,д);

Общая схема экспериментов состояла в следующем. Испытуемому последовательно предъявлялась серия фрагментов, в каждом из которых необходимо было отыскать четыре прибора (одни и те же для всех фрагментов – два стрелочных, один узкопрофильный и одно сигнализационное табло) и зарегистрировать их показания. Если эти показания укладывались в определенные, известные испытуемому, рамки (т.е. имела место некоторая «технологическая ситуация»), то с помощью манипулятора «мышь» нажималась кнопка «Да»; в противном случае – кнопка «Нет». Для каждого фрагмента, *содержащего искомую ситуацию*, регистрировалось время реакции испытуемого и правильность распознавания ситуации. Все эксперименты проводились с ориентацией испытуемых на *быстродействие*. Всего были сформированы три различных по длине и содержанию типа серий, в каждую из которых случайным образом вставлялись фрагменты, обеспечивающие *привыкание* испытуемого к эксперименту, а также фрагменты, в которых идентифицируемая ситуация отсутствует.

Фрагменты предъявлялись на экране компьютерного монитора размером 15 дюймов в режиме разрешения 600×800 точек. В таком режиме отображения угловые размеры предъявляемых СОИ составляли 1,5° и выше, что согласуется с инженерно-психологическими нормами эффективного восприятия [1].

Для автоматизации проведения экспериментов и регистрации характеристик восприятия информации были созданы презентации в среде Microsoft® PowerPoint97. Презентации обеспечивали иницилируемое пользователем последовательное предъявление объяснительной информации, фрагментов, эмуляцию нажимаемых пользователем кнопок и запись в текстовый файл времени реакции и правильности распознавания ситуации. Регистрация данных и их запись в файл осуществляется с помощью макросов, написанных на языке Visual Basic. Наряду с предъявляемой на экране информацией перед испытуемым постоянно лежала бумажная карточка, на которой были изображены искомые для определения ситуации СОИ и текстовое описание заданных уставок.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

На рис. 2 приведены гистограммы распределения времени реакции испытуемых на предъявление фрагментов; в табл. 1 – основные статистические моменты экспериментальных данных после исключения явных выбросов.

Экспериментальное исследование проводилось в течение двух месяцев. В качестве испытуемых выступали студенты 3-5 курсов технических (220200 – Автоматизированные системы обработки информации и управления (АСОИУ), 071900 – Информационные системы в ядерной энергетике) и психологической (020400 – Психология) специальностей Обнинского института атомной энергетики, а также аспиранты и преподаватели кафедры автоматизированных систем управления. Общее число участников экспериментов составило 135 человек.

АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Для *оценки достоверности* полученные результаты экспериментов были соотнесены с опубликованными справочными данными. В табл. 2 представлены исходные данные для определения расчетного времени реакции на основании данных, опубликованных в [2,8]. Минимальное и максимальное время реакции испытуемого (T) на предъявление одного фрагмента определяется следующим образом:

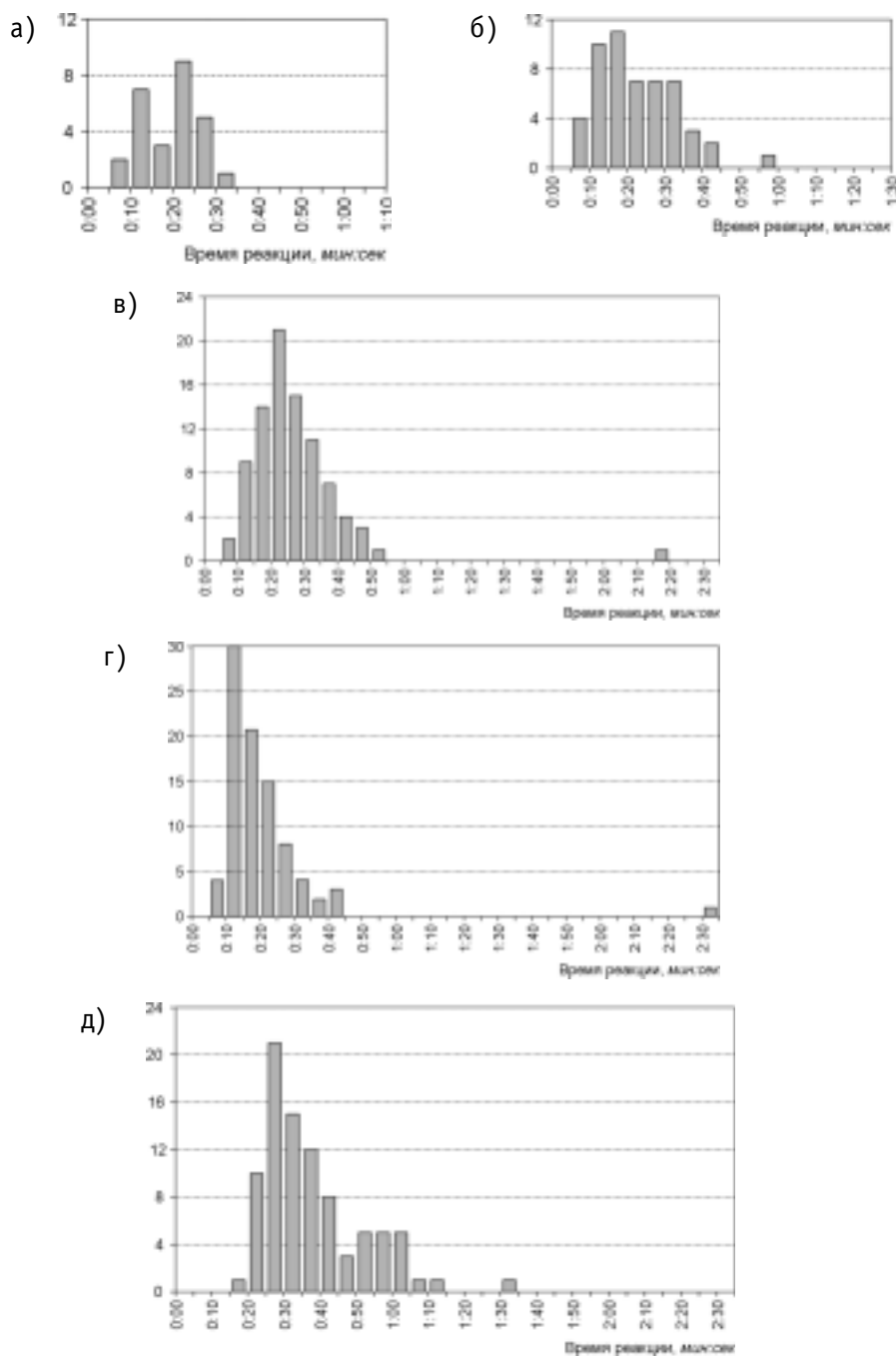


Рис. 2. Гистограммы времени реакции испытуемого на фрагменты: а – упорядоченный по форме, б – упорядоченный структурно, в – неупорядоченный, г – выделенный, д – последовательный

$$T_{\min} = \sum_{i=1}^k m_i t_{i\min}, \quad T_{\max} = \sum_{i=1}^k m_i t_{i\max},$$

где i – типовое действие испытуемого, m_i – количество действий i -го типа для одного фрагмента, $t_{i\min}$, $t_{i\max}$ – минимальное и максимальное время выполнения одного действия i -го типа (справочные данные).

Таблица 1

Статистические характеристики экспериментальных данных

Фрагмент	<i>n</i>	<i>t</i> _{ср.} , с	σ^2	<i>R</i> , с	<i>V</i> , %	α	<i>P</i>
По всем реакциям							
Упорядоченный по форме	27	19	41,1	25	33	−0,08	0,15
Упорядоченный структурно	52	22					0,31*
Неупорядоченный	87	21	95,6	44	47	0,58	0,31
Выделенный	87	14	62,3	36	56	1,21	0,14
Последовательный	88	33	185,7	72	41	1,23	0,06
Только для безошибочных реакций							
Упорядоченный по форме	23	19	33,0	25	30	−0,11	-
Упорядоченный структурно	36	22	133,2	53	52	0,93	-
Неупорядоченный	60	23	83,8	38	40	0,72	-
Выделенный	75	14,5	68,0	36	57	1,15	-
Последовательный	84	32	185,0	72	43	1,38	-

Обозначения: *n* – число испытуемых; *t*_{ср.} – среднее арифметическое времени реакции; σ^2 – дисперсия; *R*=*t*_{max} – *t*_{min} – вариационный размах; *V*=($\sigma/t_{ср.}$) 100% – коэффициент вариации; α – коэффициент асимметрии (при $\alpha>0$ смещение влево), *P* – вероятность ошибки.
Примечание: *) 0,19 – для группы специальности 220200 – АСОИУ; 0,39 – для группы специальности 020400 – Психология; жирным шрифтом выделены итоговые характеристики восприятия.

Общее расчетное время реакции составляет *T*_{общ}=23,6÷40,1 с, причем время восприятия информации занимает от 17,5 до 19,5 с, а на восприятие одного элемента информации (всего в одном фрагменте 35 элементов информации – приборов, сигнализаторов и шильдиков) тратится в среднем около $\tau=0,53$ с. Если из расчетов исключить восприятие информации с СОИ, не задействованных в опознании ситуации, то время реакции составит *T*_{ситуац.}=10,3÷25,4 с. Это довольно хорошо согласуется со средним временем восприятия – *t*_{ср.}=14,5с фрагмента с выделенными приборами (рис. 1, 2) – в этом фрагменте внимание испытуемого концентрируется исключительно на нужных четырех СОИ.

Средние значения времени реакции на остальные фрагменты (см. табл. 1) также укладываются в указанные интервалы с учетом того, что испытуемый реально считывает не всю информацию, а лишь ту, которая связана с поиском и восприятием нужных ему приборов. Выполним приблизительную *оценку объема информации*, считываемой испытуемым в ходе опознания ситуации в каждом фрагменте:

Таблица 2

Исходные данные для оценки расчетного времени реакции

Тип действия, <i>i</i>	Содержание действия	Количество действий, <i>m_i</i>	Время выполнения действия, с	
			минимальное, <i>t_imin</i>	максимальное, <i>t_imax</i>
	Считывание информации			
1	с сигнализатора	15	0,3	0,3
2	со стрелочного прибора	5	1,0	1,2
3	с самописца	1	1,0	1,2
4	с прибора с линейной шкалой	4	1,0	1,2
5	Считывание названий (шильдиков)	10	0,3	0,3
6	Двигательная реакция	1	0,5	0,5
7	Принятие решения из 3-4 логических условий	1	5,5	20
8	Нажатие кнопки	1	0,1	0,1

$$m = (t_{\text{cp.}} - t^*) / \tau,$$

где t^* – время, не связанное с восприятием информации (при минимальной длительности принятия решения оно составляет 6,1 с). Предположив, что t^* – константа, определим ее значение на основании среднего времени реакции $t_{\text{cp.}} = 14,5$ с на фрагмент с выделенными приборами (рис.1,2), в ходе восприятия которого известно, что испытуемый считывает $m=8 \div 10$ элементов информации:

$$t^* = t_{\text{cp.}} - m\tau \approx 10 \text{ с.}$$

Тогда при восприятии фрагмента с неупорядоченными приборами (рис. 1, в) испытуемый считывает в среднем $m=(23-10)/0,53=25$ элементов информации (т.е. 70% информации); фрагмента с упорядоченными приборами (рис. 2, а) – $m=(19-10)/0,53=17$ (около 50%). В последовательном фрагменте на длительность восприятия влияет гораздо более значимый фактор – необходимость перелистывания страниц.

АНАЛИЗ ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Рассмотрим *дисперсионные характеристики* экспериментальных данных. Во всех экспериментах наблюдалась значительная дисперсия времени реакции на предъявление первого фрагмента. Это обусловлено существенными различиями в индивидуальных способностях испытуемых к быстрой адаптации в условиях нового вида деятельности. Некоторые респонденты в начале эксперимента долго рассматривали первый фрагмент, не предпринимая никаких действий по поиску нужной информации. По мере продвижения по фрагментам во всех экспериментах дисперсия падает. Так, по мере предъявления в начале эксперимента нескольких однотипных фрагментов с упорядоченной по форме компоновкой к третьему фрагменту коэффициент вариации V падает с 70 до 33%, а коэффициент асимметрии приближается к нулю – от 1,15 до –0,08.

Это свидетельствует о том, что к третьему фрагменту испытуемые в целом адаптируются к условиям эксперимента. Их реакция начинает реально отражать эффективность компоновки фрагментов, а не индивидуальные адаптационные способности каждого человека. В целом можно утверждать, что для аналогичных по компоновке фрагментов время реакции в начале эксперимента в среднем на 30-50% больше времени реакции, установившегося в результате адаптации.

Кроме того, наблюдается всплеск дисперсии для последовательного фрагмента, предъявляемого по частям. Рост дисперсии обусловлен тем, что некоторые испытуемые не сразу понимали механизм перелистывания частей, а некоторые, пролистав все страницы, возвращались к уже просмотренным.

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОСПРИЯТИЯ

Проанализируем полученные *характеристики эффективности восприятия* – время и безошибочность. В результате исключения из рассмотрения ошибочных реакций наблюдается тенденция к увеличению среднего времени реакции на 0,5-1 с (см. табл. 1). Это неудивительно, т.к. для правильного опознания ситуации нужно найти, считать и проанализировать показания четырех СОИ, в то время как вывод об отсутствии ситуации может быть сделан при ошибочном сопоставлении или восприятии информации уже с первого прибора.

Наибольшее время реакции ($t=32$ с) наблюдается для последовательного фрагмента, однако при его восприятии допущено меньше всего ошибок ($P=0,06$). Скорее всего, увеличение времени обусловлено необходимостью перелистывать страницы фрагмента, а основным фактором, повлиявшим на снижение числа ошибок,

стало уменьшение числа одновременно представляемых приборов и увеличение их размера на экране.

Восприятие упорядоченных и неупорядоченных фрагментов сравнимо по времени реакции ($t=19\div 23$ с), однако существенно различается по надежности. Так, при восприятии неупорядоченного фрагмента ошибку допускал почти каждый третий испытуемый ($P=0,31$).

Непростая ситуация складывается и с восприятием структурно упорядоченного фрагмента – для него отмечено относительно высокое время реакции и низкая надежность ($P=0,31$). К этому эксперименту были впервые привлечены испытуемые нетехнической специальности (в основном, девушки), показавшие практически одинаковое с другими испытуемыми время реакции, но допустившие почти в два раза больше ошибок ($P=0,39$ по сравнению с $P=0,19$). Очевидно, что эти результаты нельзя проецировать на операторов БЩУ АЭС, т.к. структурная организация щита для них гораздо более естественна (она накладывается на устойчивое знание структуры объекта управления) и, кроме того, она выполнена в условиях несравненно большего количества СОИ (несколько сотен показывающих приборов и несколько тысяч сигнализационных табло).

Для упорядоченного по форме фрагмента необходимо отметить тенденцию к росту времени реакции на вертикально упорядоченный фрагмент по сравнению с горизонтально упорядоченным.

Особый интерес представляют характеристики восприятия выделенного фрагмента. Отметим, что выделение нужных СОИ при неупорядоченной компоновке позволяет существенно (почти на треть) сократить время восприятия (до 14,5 с) при сравнимой даже чуть меньшей, чем для упорядоченных фрагментов, частоте ошибок.

ВЫВОДЫ

В результате настоящего исследования выявлено следующее.

1. Для полной адаптации к эксперименту достаточно предъявления двух фрагментов. Время реакции испытуемого на них отличается от времени реакции после адаптации на 30-50%.

2. При поиске нужных приборов на фрагменте с упорядоченными по форме СОИ испытуемый считывает около половины всей информации, на фрагменте с неупорядоченными СОИ – более 70%.

3. Последовательное представление однородных по форме СОИ небольшими порциями позволяет существенно повысить надежность восприятия информации, однако значительно увеличивает время реакции.

4. Графическое выделение необходимых приборов позволяет почти на треть сократить время восприятия информации по сравнению с невыделенной компоновкой.

5. Неупорядоченная по форме компоновка СОИ не сильно задерживает процесс восприятия, однако чревата высокой вероятностью ошибки – ее допускает почти каждый третий испытуемый.

6. При упорядоченной по форме компоновке СОИ более эффективным является горизонтальный принцип компоновки по сравнению с вертикальным.

7. Структурная организация СОИ при малом числе приборов и отсутствии у испытуемого знаний об объекте управления неэффективна – она задерживает восприятие и несколько повышает число ошибок.

Литература

1. Справочник по инженерной психологии / *Под ред. Б.Ф. Ломова*. – М.: Машиностроение, 1982. – 368 с.
2. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: Справочник / *Под общ. ред. А.И. Губинского, В.Г. Евграфова*. – М.: Машиностроение, 1993. – 528 с.
3. *Сомов Ю.С.* Композиция в технике. – М.: Машиностроение, 1989. – 288 с.
4. Человеческий фактор. В 6-ти тт. / *Под ред. Г. Салвенди*. – М.: Мир, 1991-92.
5. *Анохин А.Н., Киндинова С.М., Бугаев А.А., Пучков Л.В.* Исследование стрессовых ситуаций в деятельности оперативного персонала атомных станций // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2000. – № 3. – С. 19–26.
6. *Зверков В.В.* Блочные щиты управления АЭС. – М.: Скрипто, 1993. – 256 с.
7. *Анохин А.Н., Острейковский В.А.* Вопросы эргономики в ядерной энергетике. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 344 с.
8. *Хребтов А.А., Кобзев В.В., Губинский А.И.* Разработка методики определения количественных показателей надежности оперативного персонала ядерных энергетических установок. Научно-технический отчет. – Л.: ЛП СНИО, 1989. – 81 с.

Поступила в редакцию 31.01.2002

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.568.007.4

Analysis of Influence of Layout of NPP Control Room Displays on Efficiency of Information Perception \ A.N. Anokhin, E.N. Alontseva; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2002. - 9 pages, 2 tables, 2 illustrations. - References, 8 titles.

The purpose of presented research is to carry out an experimental comparison of duration and reliability of perception of displays ordered under some layout principles. The following layout principles were studied: ordered by display's form, ordered by functional assignment, disordered, disordered and accentuated, shared and presented by one after another. 135 participants (students and post-graduate students of the INPE) took part in experiments. The following main conclusions were drawn. High reliability and large duration of perception are resulted from shared layout. The quickness of perception of graphical accentuated displays decreases on about third in comparison with unaccentuated ones. The disordered layout result to extremely low correctness. The functional layout isn't effectual under deficiency of knowledge about problem area. Horizontally ordered layout is preferable beside vertically ordered displays. During perception participants read about half of all information in ordered layout and above 70 percent of all information in disordered layout

УДК 621.039.58

Date Accidents Analysis of WWR-c reactor \ O.Y. Kochnov, Y.V. Volkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2002. - 9 pages, 1 table, 8 illustrations. - References, 6 titles.

The operation protective system analyze of WWR-c (Obninsk) was presented in this article since reactor start up (1964). The accident reasons was considered. The conclusion about increasing safety exploitation of research reactor was done.

УДК 621.039

Decommissioning of NPP Units: Conception; State of Execution \ S.A. Nemytov, V.K. Zimin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2002. - 7 pages, 1 table.

The paper is devoted to actual problem of decommissioning of NPP units. The basic concepts, normative documents, stages of process and its feature are considered.

УДК 539.173.84

On the problem of the effective multiplication factor determination using statistical pulse methods \ V.A. Doulin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2002. - 5 pages. - References, 5 titles.

The approach for taking in account the detector position influence on the measured decay neutron density coefficient and other point kinetic parameters by using the pulse neutron source experiments in the multiplying subcritical media is proposed.

Instead the adjoint homogeneous equation (relative the asymptotic power) here is used the adjoint inhomogeneous equation (relative the such detector count rate). The obtained results may be useful by the neutron life time measurements analyses and the spatial correction factor calculation by the effective multiplication factor determination using Rossi-alfa methods – for the low multiplying subcritical media with neutron source especially.

УДК 621.039.54

General Study Statement on Thermomechanical Behaviour of the WWER-1000 Reactor Core \ V.M. Troyanov, Y.U. Likhachev, V.I. Folomeev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2002. - 11 pages, 3 illustrations. - References, 14 titles.

The paper reviews general study statement on thermomechanical behaviour of the WWER-1000