ГОСТ Р 29.08.004—96

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СИСТЕМА СТАНДАРТОВ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ И ЭРГОНОМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

РАБОЧЕЕ МЕСТО ДИСПЕТЧЕРА СЛУЖБ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ ОБЩИМ ЭРГОНОМИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

Издание официальное

БЗ 5—96/190

ГОССТАНДАРТ РОССИИ
Москва

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации «Эргономика» (ТК 201)

2 ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Госстандарта России от 24 декабря 1996 г. № 691

3 В настоящем стандарте реализованы нормы «Основ законодательства Российской Федерации об охране труда» от 6 августа 1993 г. № 5600—1 и постановления Правительства Российской Федерации «Об обязательной сертификации постоянных рабочих мест на производственных объектах, средств производства, оборудования для средств коллективной и индивидуальной защиты» от 6 мая 1994 г. № 485

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© ИПК Издательство стандартов, 1997

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта России

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Определения 2
4 Общие положения 3
5 Требования к методам оценки соответствия параметров рабочих мест общим эргономическим требованиям 3
6 Требования к методам измерения параметров внешней среды на рабочих местах диспетчеров 5
6.1 Измерение освещенности рабочих поверхностей 5
6.2 Измерение шума 6
6.3 Измерение показателей микроклимата 7
Приложение А Методы обработки экспертных оценок 8

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения

РАБОЧЕЕ МЕСТО ДИСПЕТЧЕРА СЛУЖБ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Методы оценки соответствия общим эргономическим требованиям

System of ergonomic requirements and ergonomic assurance standards. Air traffic control service operator's workplace. Ergonomic requirements correspondence evalution methods

Дата введения 1998—01—01

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий стандарт устанавливает требования к методам измерения и оценки соответствия параметров вновь создаваемого, модернизируемого и находящегося в эксплуатации рабочего места (РМ) диспетчера службы управления воздушным движением (УВД) общим эргономическим требованиям, в том числе требованиям к факторам внешней среды на рабочем месте.

Стандарт применяют также для оценки рабочих мест в составе диспетчерских тренажеров.

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.005—88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 12.1.050—86 Система стандартов безопасности труда. Методы измерения шума на рабочих местах

ГОСТ 12.2.049—80 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования

ГОСТ 427—75 Линейки измерительные металлические. Технические условия

ГОСТ 8711—93 Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 2. Особые требования к амперметрам и вольтметрам

Издание официальное

ГОСТ 17168—82 Фильтры электронные октавные и третьоктавные. Общие технические требования и методы испытаний

ГОСТ 21889—76 Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования

ГОСТ 24940—81 Здания и сооружения. Методы измерения освещенности

ГОСТ 26387—84 Система «человек-машина». Термины и определения

ГОСТ Р 29.05.008—96 Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. Рабочее место диспетчера служб управления воздушным движением. Общие эргономические требования

3 ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем стандарте применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Система «человек-машина» (СЧМ) — система, включающая в себя человека-оператора СЧМ, машину, посредством которой он осуществляет трудовую деятельность, и среду на рабочем месте (по ГОСТ 26387).

Орган управления — техническое средство в СЧМ, предназначенное для передачи управляющих воздействий от оператора СЧМ к машине (по ГОСТ 26387).

Средство отображения информации — устройство в системе «человек-машина», предназначенное для восприятия оператором СЧМ сигналов о состоянии объекта воздействия, системы «человек-машина» и способов управления ими (по ГОСТ 26387).

Физиологически рациональная рабочая поза — рабочая поза, соответствующая критериям функционального комфорта, а именно:

характеризующаяся выпрямленным положением позвоночного столба с сохранением его естественных изгибов;

минимальной нагрузкой на мышечную систему тела человека;

отсутствием болезненных ощущений в результате воздействия элементов кресла на тело сидящего человека;

значением угла наклона таза, близким к его значению в положении стоя (около 40 °—45 °);

углом сгибания рук в локтевых суставах 70 °—90 °;

углом сгибания ног в коленном и голеностопном суставах 95 °—135 ° (по ГОСТ 21889).

Перцентиль — сотая часть объема измеренной совокупности, которой соответствует определенное значение антропометрического признака. Значения перцентилей определяются арифметически с уче-

том среднего арифметического значения антропометрического признака M и коэффициента среднего квадратического отклонения σ, что для 5-го перцентиля составляет $M - 1{,}645\,\sigma$, а для 95-го перцентиля $M + 1{,}645\,\sigma$ (по ГОСТ 21889).

Диспетчер — человек, осуществляющий трудовую деятельность, основу которой составляет взаимодействие с объектом воздействия, машиной и средой на рабочем месте при использовании информационной модели и органов управления.

Рабочее место диспетчера УВД — часть пространства пункта управления воздушным движением, оснащенная пультом управления, на котором размещены средства отображения информации, оконечные устройства средств коммуникации, органы управления, а также рабочим креслом и предназначенная для осуществления деятельности по УВД.

Пульт управления диспетчера — элемент рабочего места диспетчера, на котором размещены средства отображения информации, оконечные устройства средств коммуникации и органы управления.

4 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1 При контроле эргономических требований РМ диспетчера службы управления воздушным движением оценивают соответствие состава основных элементов РМ и его компоновочного решения предписанным диспетчеру функциональным обязанностям, проводят измерения и оценку размерных характеристик рабочих пространств, досягаемости и углов обзора элементов пульта диспетчера, кресла и подставки для ног.

4.2 Измерения и оценку эргономических параметров встраиваемых в пульт средств отображения информации и органов управления не проводят, поскольку соответствие устанавливаемых на пульте отдельных средств отображения информации и органов управления должно быть подтверждено сертификатами или актами госиспытаний.

4.3 При контроле параметров внешней среды на РМ диспетчера проводят измерения и оценку уровней освещенности и отражающих характеристик поверхностей пульта управления, шумовых характеристик и параметров микроклимата.

5 ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДАМ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ МЕСТ ОБЩИМ ЭРГОНОМИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

5.1 Соответствие параметров РМ общим эргономическим требованиям оценивают методами:

технической оценки;

экспертной оценки;

непосредственных измерений параметров элементов РМ;

аналитических расчетов параметров элементов РМ;

непосредственных измерений шумовых и светотехнических характеристик и параметров микроклимата (раздел 6).

5.2 Метод технической оценки применяют при проверке качественных требований, факт выполнения которых может быть однозначно определен.

При наличии готового образца РМ (макетные, заводские, государственные испытания) с помощью метода технической оценки определяют устойчивость рабочего кресла, подставки для ног и ножной тангенты, гладкость лицевой поверхности и цветовое решение пульта.

При анализе технической документации метод технической оценки применяют для определения соответствия состава основных и вспомогательных элементов конкретного РМ предписанным диспетчеру функциям и для оценки выполнения требований к взаимному размещению элементов пульта.

5.3 Экспертную оценку применяют для определения частоты использования конкретных элементов пульта в процессе работы диспетчера различных специализаций и для определения соответствия технологиям работы диспетчера для различных РМ.

Экспертную оценку выполняет экспертная группа, состоящая из специалистов по эргономике и диспетчерским операционным функциям. В состав экспертной группы должно входить не менее 5 человек.

При разработке систем управления воздушным движением, имеющих прототипы по составу основным элементам РМ и предписанным функциям, рекомендуется привлекать к работе в экспертной группе диспетчеров, работающих в таких системах-прототипах.

При определении степени частоты использования встраиваемого в пульт средства отображения информации, органов управления и определении важности алгоритмов ввода команд и сообщений применяют метод ранговых оценок. Методы обработки экспертных оценок приведены в приложении А. Важность алгоритмов определяют экспертной оценкой коэффициентов весомости на интервале [0, 1]. При оценке коэффициентов эксперты учитывают информацию о частоте предполагаемого использования алгоритмов при типовых вариантах функционирования системы управления воздушным движением и влияний результатов отработки алгоритмов на результаты функционирования системы, как указано в приложении А.

Опрос экспертов проводят в письменной форме — эксперты заполняют заранее разработанные анкеты.

Необходимо исключить возможность влияния мнений одних экспертов на мнения других экспертов непосредственно до и во время проведения экспертизы.

5.4 Непосредственные измерения параметров элементов РМ проводят при наличии опытного образца (макетные, заводские, государственные испытания). С помощью этого метода определяют размерные характеристики РМ, оценивают обзорность элементов пульта и досягаемость органов управления, измеряют шумовые и светотехнические характеристики, а также параметры микроклимата.

Для измерения линейных параметров следует использовать измерительные металлические линейки (ГОСТ 427) или металлические рулетки 3-го класса точности; диапазон измерений 0—1000 мм, основная погрешность 0,5 мм.

Для измерения угловых параметров используют угловые шаблоны или угломеры 3-го класса точности.

Измеренные параметры РМ считают соответствующими эргономическим требованиям, если их значения соответствуют установленным ГОСТ Р 29.05.008 или отличаются от них не более чем на 10 мм по линейному и на 1 ° по угловому параметру.

5.5 При аналитических расчетах параметров элементов РМ проводят оценку размерных характеристик РМ, углов обзора и досягаемости элементов пульта, компоновки органов управления.

Исходными данными для расчета линейных и угловых параметров РМ являются рабочие чертежи и техническая документация на элементы рабочего места, включая компоновочные решения, и антропометрические параметры взрослого мужского населения, установленные ГОСТ 12.2.049. Расчетная рабочая поза диспетчера — физиологически рациональная рабочая поза по ГОСТ 21889.

Рассчитанные параметры РМ считают соответствующими эргономическим требованиям, если их значения соответствуют установленным ГОСТ Р 29.05.008 или отличаются от них не более чем на 10 мм по линейному и на 1 ° по угловому параметру.

Оценку вариантов размещения, компоновки и упорядоченности элементов пульта проводят по приложению А после выбора рационального варианта компоновки пульта управления из двух или более вариантов.

6 ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДАМ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ ДИСПЕТЧЕРОВ

6.1 Измерение освещенности рабочих поверхностей

6.1.1 *Средства измерений*

6.1.1.1 Все используемые средства измерений не должны иметь просроченных сроков проверки.

6.1.1.2 Фотоэлектрические люксмеры, предназначенные для измерения освещенности:

- минимальная измеряемая освещенность — 1 лк;
- предел допускаемой основной относительной погрешности измерения — не более 10 %;
- погрешность коррекции спектральной характеристики приемника излучения под относительную световую эффективность монохроматического излучения для дневного зрения — не более 10 %.

6.1.1.3 Вольтметры, предназначенные для измерения напряжения в сети, — по ГОСТ 8711, класс точности 1,5.

6.1.2 *Подготовка и проведение измерений*

6.1.2.1 Перед измерением освещенности должна быть проведена замена всех перегоревших ламп и чистка светильников.

Измерение освещенности допускается также проводить без предварительной подготовки осветительной установки, что должно быть зафиксировано при оформлении результатов измерений.

6.1.2.2 Контрольные точки для измерения освещенности на РМ следует размещать на столешнице пульта.

6.1.2.3 Измерение освещенности следует проводить в темное время суток, когда отношение естественной освещенности к искусственной не более 0,1.

6.1.2.4 Проведение измерений — по ГОСТ 24940.

6.1.2.5 Коэффициенты отражения лицевых поверхностей пультов измеряют методом сопоставления со шкалой коэффициентов отражения в пределах 0,1—0,8 и градацией 0,1.

6.1.3 *Обработка и оценка результатов измерений*

6.1.3.1 Измеренное значение освещенности должно быть пересчитано на номинальное напряжение в сети. Расчет осуществляют, как указано в ГОСТ 24940.

6.1.3.2 При измерениях освещенности после замены перегоревших ламп и чистки светильников фактическая освещенность в контрольных точках должна соответствовать или быть больше нормированного значения по ГОСТ Р 29.05.008.

При измерениях освещенности без предварительной подготовки осветительной установки фактическая освещенность в контрольных точках должна быть не менее ее нормируемого значения.

6.2 Измерение шума

6.2.1 *Средства измерения*

6.2.1.1 Уровни шума измеряют шумомерами 1-го или 2-го класса точности.

6.2.1.2 Октавные уровни звукового давления измеряют шумомерами с подключенными к ним октавными электрическими фильтрами по ГОСТ 17168 или комбинированными измерительными системами соответствующего класса точности.

6.2.1.3 Аппаратуру калибруют до и после проведения измерений в соответствии с технической документацией по эксплуатации приборов.

6.2.2 *Условия проведения измерений*

6.2.2.1 Измерение уровней шума на РМ следует проводить при работе не менее 2/3 установленных в данном помещении единиц оборудования в наиболее часто реализуемом (характерном) режиме его работы.

Во время проведения измерений должно быть включено оборудование вентиляции, кондиционирования воздуха и другие обычно используемые в помещении устройства, являющиеся источниками шума.

Другие условия проведения измерений — по ГОСТ 12.1.050.

6.2.3 *Проведение измерений, обработка и оценка результатов*

6.2.3.1 Проведение измерений и обработка результатов — по ГОСТ 12.1.050.

6.2.3.2 Фактические уровни шума считают допустимыми, если они не превышают значений, установленных ГОСТ Р 29.05.008.

6.3 Измерение показателей микроклимата

6.3.1 При контроле показателей микроклимата на РМ диспетчера должны быть проведены измерения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха.

6.3.2 *Средства измерения*

6.3.2.1 Температуру и относительную влажность воздуха следует измерять аспирационными психрометрами в соответствии с ГОСТ 12.1.005.

6.3.2.2 Скорость движения воздуха измеряют электроанемометрами, цилиндрическими и шаровыми кататермометрами в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005.

6.3.3 *Условия и порядок проведения измерений, оценка результатов*

6.3.3.1 Измерения показателей микроклимата следует проводить в начале, середине и конце холодного и теплого периодов года не менее трех раз в смену (в начале, середине и конце).

6.3.3.2 Температуру, относительную влажность и скорость движения воздуха на РМ авиадиспетчера измеряют на высоте 1,0 м от уровня пола.

6.3.3.3 Для определения разности температуры воздуха следует проводить измерения на высоте 0,1 м от пола и на уровне головы диспетчера при выполнении им работы в положении сидя.

6.3.3.4 Фактические показатели микроклимата на РМ считают соответствующими норме, если их значения находятся в пределах или не превышают допустимых значений, установленных ГОСТ Р 29.05.008.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(рекомендуемое)

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

А.1 Метод ранговых оценок

А.1.1 Ранговые оценки применяют при использовании в процессе оценки метода ранжирования, который заключается в установлении экспертами относительной значимости (предпочтительности) оцениваемых показателей на основе их упорядочения. При ранжировании эксперт должен расположить показатели в порядке, который представляется ему рациональным, и приписать каждому из них числа натурального ряда — ранги (1, 2, 3 и т.д.). Ранг 1 присваевается наиболее предпочтительному показателю, ранг 2 — следующему по значимости (предпочтительности) и т.д. Полученные ранги составляют матрицу рангов.

А.1.2 Исходными данными для обработки является матрица рангов R

$$R = \|r_{ik}\|, \qquad (A.1)$$

где r_{ik} — ранг k-го показателя, данный i-м экспертом.

А.1.3 Метод обработки при оценке коэффициентов весомости предусматривает выполнение следующих операций:

формирование обобщенной матрицы рангов;

перевод обобщенной матрицы рангов в матрицу групповых предпочтений;

проверка однозначности экспертных оценок;

проверка предварительной согласованности экспертных оценок при их неоднозначности;

определение состава основной однородной группы экспертов при предварительной несогласованности экспертных оценок;

преобразование обобщенной матрицы рангов в матрицу обобщенных экспертных оценок;

проверка согласованности экспертных оценок основной однородной группой экспертов;

оценка коэффициентов весомости эргономических показателей.

А.1.3.1 Формирование обобщенной матрицы рангов $R_0 = \|R_{ik}\|$ проводят при исходных данных для обработки в виде матрицы рангов R элементы $R_{ik} = r_{ik}$.

А.1.3.2 Перевод обобщенной матрицы рангов R_0 в матрицу групповых предпочтений $P = \|P_{kt}\|$ заключается в вычислении ее элементов для $k = 1, n$ и $t = 1, n$ по формуле

$$P_{kt} = \frac{N_{kt}}{m_k + 2m_{kn}}, \qquad (A.2)$$

где N_{kt} — количество рангов, равных t в k-м столбце матрицы R_0,

m_k — количество целых рангов в k-м столбце матрицы R_0,

m_{kn} — количество нецелых (дробных) рангов в k-м столбце матрицы R_0

При определении N_{kt} учитывают и дробные ранги, которые соответствуют любому из условий

$$t - 1 < R_{ik} < t, \quad t < R_{ik} < t + 1$$

А 1 3 3 Экспертные оценки считают однозначными, если при всех k S_k соответствует равенству

$$S_k = 3\sqrt{\sum_{t=1}^{n}(t - P_k)^2 P_{kt}} = 1, \qquad (A\ 3)$$

где $P_k = \sum_{t=1}^{n} P_{kt}\, t$

При однозначности экспертных оценок проводят оценку коэффициентов весомости по А 1 3 8

А 1 3 4 При неоднозначности экспертных оценок их считают предварительно согласованными, если H_0 соответствует

$$H_0 = 1 - \frac{H}{n \log n} \geq 0{,}19, \qquad (A\ 4)$$

где $H = -\sum_{k=1}^{n}\sum_{t=1}^{n} P_{kt} \log P_{kt}$

При предварительной согласованности экспертных оценок принимают гипотезу об однородности всей экспертной группы и проверяют окончательную согласованность их оценок по А 1 3 7

Характеристика критериев проверки однозначности и предварительной согласованности экспертных оценок приведена в разделе А 2

Примечание — Критерий предварительной согласованности допускается рассчитывать при любом основании логарифма больше 1

А 1 3 5 При предварительной несогласованности экспертных оценок определяют состав основной однородной группы экспертов, последовательно выполняя

1) преобразование обобщенной матрицы рангов R_0 в матрицу обобщенных экспертных оценок B_0

$$B_0 = \begin{vmatrix} b^0_{11} & b^0_{12} \\ b^0_{n1} & b^0_{n2} \end{vmatrix}, \qquad (A\ 5)$$

2) нормирование элементов матрицы B_0

$$\bar{b}^0_{jt} = \frac{\left[b^0_{jt} - \min\left(b^0_{jt}\right)\right]10}{\max(b^0_{jt}) - \min(b^0_{jt})} \qquad (A.6)$$

Примечание. — Запись $\max(b^0_{jt})$ или $\min(b^0_{jt})$ означает определение соответственно максимального или минимального числа из чисел b^0_{jt} при изменении индекса j от 1 до n и индекса t, равного 1 или 2.

3) представление каждой строки матрицы B_0 точкой на плоскости, откладывая на оси абсцисс значения первого элемента строки, а по оси ординат — значения второго элемента строки,

4) определение на основе анализа расположения обобщенных экспертных оценок на плоскости наличия и состава однородных групп экспертов;

5) выбор основной однородной группы экспертов при наличии среди однородных групп группы, в которую входят 66 % и более экспертов.

А 1.3.6 Преобразование обобщенной матрицы рангов в матрицу обобщенных экспертных оценок проводят в соответствии с принципами, приведенными в разделе А.3.

А.1.3 7 *При наличии основной однородной группы экспертов проверяют* окончательную согласованность их оценок:

гипотезу о согласованности оценок принимают, если

$$\Phi_{n,\,m_0}\left(\chi^2\right) \geq \Phi\left(n,\, m_0,\, \alpha\right), \qquad (A.7)$$

где $\Phi_{n,\,m_0}\left(\chi^2\right)$ — функция от статистики χ^2;

$\Phi\left(n,\, m_0,\, \alpha\right)$ — граничное значение функции $\Phi_{n,\,m_0}\left(\chi^2\right)$, которое определяется соотношением между значениями n и m_0, а также заданной вероятностью α (уровнем значимости) принятия ошибочного решения.

Вид функции $\Phi_{n,\,m_0}\left(\chi^2\right)$ определяется соотношением между числом показателей n и числом экспертов m_0 основной однородной группы.

Уровень значимости α принимают равным 0,01; 0,05; 0,10.

Статистику χ^2 вычисляют по формулам:

при отсутствии связанных рангов

$$\chi^2 = \frac{12S}{m_0 n\,(n-1)}, \qquad (A.8)$$

при наличии связанных рангов

$$\chi^2 = \frac{12S}{m_0 n\,(n+1) - \dfrac{1}{n-1}\sum\limits_{t=1}^{m_0} T_t}, \qquad (A.9)$$

где $S = \sum_{k=1}^{n} \left(\sum_{i=1}^{m_0} R_{ik}^0 - \frac{m_0 (n+1)}{2} \right)^2$; $T_i = \sum_{\gamma=1}^{n_i} t_{\gamma i} (t_{\gamma i}^2 - 1)$,

где n_i — количество групп связанных рангов в ранжировке i-го эксперта;

$t_{\gamma i}$ — *количество групп связанных рангов в группе с номером* γ *в ранжировке* I-го эксперта;

R_{ik}^0 — элемент матрицы рангов $\| R_{ik}^0 \|$, образованной исключением из матрицы рангов $R = \| r_{ik}^0 \|$ строк рангов для экспертов, которые не входят в основную однородную группу.

А.1.3.8 Оценку коэффициента весомости эргономических показателей $П_k$ проводят по формуле

$$П_k = \frac{2 \sum_{i=1}^{m_0} r_{ik}^0}{m_0 n (n+1)}; \quad k = 1, n \qquad (А.10)$$

Величина r_{ik}^0 представляет собой элементы матрицы $\| r_{ik}^0 \|$, образованной использованием из матрицы рангов $R = \| r_{ik} \|$ строк оценок для экспертов, которые не входят в основную однородную группу.

А.2 Характеристика критериев проверки однозначности и предварительной согласованности экспертных оценок.

А.2.1 Проверку однозначности экспертных оценок проводят по значениям элементов P_{kt} матрицы групповых предпочтений P (см А.1.3.2). Значение элемента P_{kt} интерпретируют как вероятность того, что по суждению экспертов k-му показателю может быть присвоен ранг t. Тогда значение элементов k-й строки матрицы P характеризует распределение рангов k-го показателя, а число, рассчитываемое как

$\sqrt{\sum_{t=1}^{n} \left(t - \sum_{t=1}^{n} P_{kt} t \right)^2 P_{kt}}$ — есть среднее квадратическое отклонение случайной величины ранга k-го показателя.

При полной однозначности экспертных оценок каждая строка матрицы P содержит элемент, равный 1, при остальных элементах — равный 0. В этом случае рассчитанное среднее квадратическое отклонение равно 0. При полной неоднозначности экспертных оценок все элементы матрицы P одинаковы и равны $1/n$. Среднее квадратическое отклонение в этом случае равно $\sqrt{\frac{n^2 - 1}{12}}$.

Экспертные оценки считают однозначными, если при трехкратном увеличении среднее квадратическое отклонение меньше 1. При двух показателях ($n = 2$) этот критерий выполняется, если вероятность того, что одному из

показателей может быть присвоен ранг 1 (а другому соответственно ранг 2), равна 0,9 и более.

А.2.2 Проверку предварительной согласованности экспертных оценок проводят также по значениям элементов P_{kt} матрицы групповых предпочтений P.

При полной однозначности экспертных оценок величина H_0 равна 1, а при полной неоднозначности равна 0. При двух показателях ($n = 2$) критерий предварительной согласованности выполняется, если вероятность того, что одному из показателей может быть присвоен ранг 1 (а другому соответственно ранг 2), равна 0,75 и более, что означает, что более 75 % экспертов отдали предпочтение такой ранжировке.

А.3 Принцип преобразования обобщенной матрицы рангов в матрицу обобщенных экспертных оценок

А.3.1 Преобразование обобщенной матрицы рангов в матрицу обобщенных экспертных оценок проводят с использованием известных методов (алгоритмов) отображения на плоскость множества точек, заданных в гиперпространстве

Для этого каждую из m строк обобщенной матрицы рангов считают точкой n-мерной гиперповерхности. Затем проводят m точек n-мерной гиперповерхности на плоскость с возможно лучшим сохранением взаимных расстояний между всеми точками в среднем квадратическом смысле. В качестве критерия минимума деформируемости взаимных расстояний при отображении точек гиперпространства на плоскость целесообразно взять требование минимума целевой функции:

$$f\left(b^0_{11}, b^0_{21}, ..., b^0_{n1}, b^0_{12}, b^0_{22}, ..., b^0_{n2}\right) =$$

$$= \sum_{i=2}^{m}\left[\frac{\sum\limits_{j=1}^{n}\left(R_{1j} - R_{ij}\right)^2}{\left(b^0_{11} - b^0_{i1}\right)^2 + \left(b^0_{12} - b^0_{i2}\right)^2} + \frac{\left(b^0_{11} - b^0_{i1}\right)^2 + \left(b^0_{12} - b^0_{i2}\right)^2}{\sum\limits_{j=1}^{n}\left(R_{1j} - R_{ij}\right)^2}\right] +$$

$$+ \sum_{i=3}^{m}\left[\frac{\sum\limits_{j=1}^{n}\left(R_{2j} - R_{ij}\right)^2}{\left(b^0_{21} - b^0_{i1}\right)^2 + \left(b^0_{22} - b^0_{i2}\right)^2} + \frac{\left(b^0_{21} - b^0_{i1}\right)^2 - \left(b^0_{22} - b^0_{i2}\right)^2}{\sum\limits_{j=1}^{n}\left(R_{2j} - R_{ij}\right)^2} + ...\right.$$

$$+\frac{\sum_{j=1}^{n}\left(R_{(m+1)j}-R_{mj}\right)^2}{\left(b^0_{(n-1)1}-b^0_{n1}\right)^2+\left(b^0_{(n-1)2}-b^0_{n2}\right)^2}+\frac{\left(b^0_{(n-1)1}-b^0_{n1}\right)^2+\left(b^0_{(n-1)2}-b^0_{n2}\right)^2}{\sum_{j=1}^{n}\left(R_{(m-1)j}-R_{mj}\right)^2}\Bigg] \quad (A.11)$$

А.3.2 Алгоритм нахождения минимума функции $f\left(b^0_{11}, b^0_{21}, ..., b^0_{n1}, b^0_{12}, b^0_{22}, ..., b^0_{n2}\right)$ при использовании в качестве оптимизации метода экстраполяционного поиска заключается в следующем: на первом шаге параметр b^0_{11} считают переменным, остальные значения фиксированы. В этом предположении находится минимум целевой функции и соответствующее значение параметра b^0_{11}. На втором шаге это значение фиксируют, остаются зафиксированными и остальные аргументы целевой функции, кроме b^0_{21}. Находят значение параметра b^0_{21}, соответствующее минимуму целевой функции, и так до $(n \times 2)$ шага, на котором находится значение параметра b^0_{n2}. Этот цикл приближения повторяют до тех пор, пока сумма абсолютных значений разности между оценками аргументов целевой функции двух последних циклов приближения не окажется меньше малого заданного числа Δ. Значение Δ задают в пределах от $0{,}001SR_{\min}$ до $0{,}1SR_{\min}$, где $SR_{\min}$ — расстояние между двумя ближайшими друг другу точками гиперповерхности.

Ограничений на применение метода нет.

А.4 Аналитическая оценка взаимного размещения органов управления

А.4.1 При оценке взаимного размещения органов управления определяют значение показателя равномерности загрузки обеих рук оператора по следующей процедуре:

1) считают известным, что оператор в зависимости от выполняемой задачи может действовать по одному из N возможных алгоритмов ввода, распоряжений и сообщений. При этом коэффициент весомости n-го алгоритма ($n = 1, 2, ..., N$) равен W_n;

2) из всех алгоритмов ввода команд, распоряжений и сообщений исключают операции, не связанные с обращением к органам управления, расположенным на панелях пульта управления (составляют укороченный алгоритм);

3) поверхность пульта управления условно разделяют на две части вертикальной линией, проходящей через центр поля зрения оператора. За центр поля зрения оператора принимают функциональный центр панели информации, который должен находиться на уровне глаз оператора;

4) каждому полученному укороченному алгоритму должна соответствовать последовательность двоичных чисел $\{V_i^{(n)}\}$

$$V_t^{(n)} = \begin{cases} 0 \text{ — если в } n\text{-м укороченном алгоритме на шаге применяют орган управления, расположенный слева от разделяющей линии.} \\ 1 \text{ — если в } n\text{-м укороченном алгоритме на шаге применяют орган управления, расположенный справа от разделяющей линии,} \end{cases}$$

где $t = 1,2,...,T$,

где T — количество обращений к органам управления в n-м укороченном алгоритме.

Показатель равномерности загрузки рук оператора Z_1 вычисляют по формуле

$$Z_1 = \sum_{n=1}^{N} \frac{T_n - 2\sum_{t=1}^{T_n} V_t^{(n)}}{T_n} W_n . \qquad (A.12)$$

А.5 Аналитическая оценка компоновки элементов пульта

Оценку компоновки элементов пульта выполняют для каждой функциональной группы элементов пульта.

При оценке компоновки элементов пульта в группе определяют значение показателя рациональности компоновки следующим образом:

1) исходными данными для оценки компоновки элементов является состав возможных алгоритмов ввода команд, распоряжений и сообщений. При этом коэффициент весомости n-го алгоритма (n = 1, 2, ..., N) равен W_n, где N — количество возможных алгоритмов ввода;

2) рассматривают алгоритмы с максимальным коэффициентом весомости. Из логарифма выписывают в порядке очередности применения все действия, связанные с обращением к одному из элементов рассматриваемой функциональной группы. Затем в соответствии с полученным укороченным алгоритмом все элементы, входящие в группу, нумеруют в порядке их применения. При наличии в рассматриваемой функциональной группе элементов, которые не применяют в алгоритме с максимальным коэффициентом весомости, но применяют в других алгоритмах, им присваивают последующие номера. В результате каждому из M_z элементов группы z будет присвоен номер — целое число из интервала [1, M_z];

3) каждому из алгоритмов, применяя полученную нумерацию элементов, ставят в соответствие укороченный алгоритм — ряд чисел $\{V_t^{(n)}\}$, где $V_t^{(n)}$ — номер элемента группы, который используется в n-м алгоритме при t-м обращении к группе; t = 1, 2, ..., T, где T — максимальное количество обращений к элементам. Величину T определяют по алгоритму с максимальным количест-

вом обращений к рассматриваемой функциональной группе, для других алгоритмов оставшиеся члены ряда чисел $\{V_t^{(n)}\}$ приравнивают к нулю;

4) пользуясь полученной нумерацией элементов, реализованный вариант размещения элементов в группе записывают также в виде ряда чисел $\{V_0\}$, перечисляя их слева направо (при размещении элементов горизонтальными рядами) или сверху вниз (при размещении элементов вертикальными рядами);

5) составляют матрицу очередности $\|P_{tj}\|$, где t — номер операции в укороченном алгоритме ($t = 1, 2, ..., T$); j — номер используемого элемента ($j = 1, 2, ..., M_z$):

$$P_{tj} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} \delta_{tjn} \quad ; \tag{A.13}$$

где

$$\delta_{tjn} = \begin{cases} W_n, & \text{если } V_t^{(n)} = j, \\ 0, & \text{если } V_t^{(n)} \neq j; \end{cases}$$

6) составляют матрицу связности $\|C_{ij}\|$

$$C_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^{N} H_{ijn} W_n}{N}, \tag{A.14}$$

где i и j — номера используемых элементов;

H_{ijn} — количество случаев, когда в n-м укороченном алгоритме (ряду чисел $V_t^{(n)}$) элемент j (число j) следует за элементом i (числом i);

7) первым элементом S_1 для размещения выбирают элемент j, для которого значение величины P_{1j} — максимальное;

8) вторым элементом S_2 для размещения выбирают элемент j, для которого значение величины $a_j = P_{2j} + C_{S1j}$ — максимальное (при $j \neq S_1$);

9) в общем случае для выбора на m-м шаге элемента для размещения рассчитывают ряд чисел $a_j = P_{mj} + C_{Sm-1j}$ для всех значений j, не равных уже размещенным $S_1, S_2, ..., S_{m-1}$. Если при этих значениях j величина $a_j = 0$, шаг процедуры увеличивают на единицу и рассчитывают значения величины $a_j = P_{m+1j} + C_{S_{m+1}j}$. В этом случае при выборе следующего S_{m+1} элемента шаг процедуры считают равным $(m + 2)$;

10) если при выборе очередного элемента при нескольких j значения величины a_j равны и максимальны, то в качестве основного берут любой из отмеченных элементов (претендентов) и продолжают процедуру, запомнив при этом номер шага, последовательность уже размещенных элементов и номера оставшихся претендентов. Затем после получения варианта последовательности размещения возвращаются на шаг, номер которого был запол-

нен, берут за основу другой отмеченный элемент и получают еще один вариант размещения;

11) если в процессе процедуры номер шага равен $(T + 1)$, а последовательность размещения элементов еще не определена, то номер шага приравнивают к единице и для выбора очередного элемента вычисляют величину $a_j = P_{1j} + C_{S_{m+1}j}$ для всех значений j, не равных номерам уже размещенных элементов $S_1, S_2, ..., S_{m-1}$;

12) для каждого полученного в результате описанной процедуры варианта размещения вычисляют нормированное взвешенное среднее количество перестановок элементов $F^{(l)}$, приходящееся на один элемент при выполнении всех алгоритмов ввода команд, распоряжений и сообщений по формуле

$$F^{(l)} = \frac{\sum_{n=1}^{N} W_n \left[ПМ\left(V_1^{(n)}\right) - 1 + \sum_{t=2}^{T} \left| ПМ_l\left(V_t^{(n)}\right) - ПМ_l\left(V_{t-1}^{(n)}\right) \right| \right]}{M_z^2}, \quad (A.15)$$

где $ПМ_l\left(V_t^{(n)}\right)$ — порядковый номер в рациональном l-м варианте размещения элемента $V_t^{(n)}$;

13) показатель рациональности компоновки Z_2 вычисляют по формуле

$$Z_2 = F^0 - \min F^{(l)}, \quad (A.16)$$

где $\min F^{(l)}$ — минимальная из рассчитанных оценок рациональных вариантов размещения;

$$F^0 = \frac{\sum_{n=1}^{N} W_n \left[ПМ_0\left(V_t^{(n)}\right) - 1 + \sum_{t=2}^{T} \left| ПМ_0\left(V_t^{(n)}\right) - ПМ_0\left(V_{t-1}^{(n)}\right) \right| \right]}{M_z^2}, \quad (A.17)$$

где $ПМ_0\left(V_t^{(n)}\right)$ — порядковый номер в реализованном варианте размещения (в ряду чисел $\{V^0\}$) элемента с номером $V_t^{(n)}$ (числа $V_t^{(n)}$).

А.6 Аналитическая оценка упорядоченности размещения элементов пульта

При оценке упорядоченности размещения элементов пульта определяют степень отклонения последовательности использования элементов пульта от рациональной упорядоченности.

Исходными данными для оценки упорядоченности размещения является состав возможных алгоритмов ввода команд, распоряжений и сообщений. При этом коэффициент весомости n-го алгоритма ($n = 1, 2, ..., N$) равен W_n, где N — количество возможных алгоритмов ввода.

Оценку для каждого из N возможных алгоритмов проводят следующим образом:

1) на листе бумаги в определенном масштабе вычерчивают развернутую фронтальную проекцию передних панелей пульта и на ней отмечают точки размещения элементов пульта относительно горизонтальной X и вертикальной Y осей. Оси проводят через функциональный центр панели информации, находящейся на уровне глаз оператора;

2) на вычерченной развернутой фронтальной проекции вычерчивают границы зоны оптимального различения (зона 1).

При использовании в качестве основного средства отображения информации индикатора с плоским изображением или стрелочного индикатора границы зоны 1 определяют по допустимым углам обзора индикатора соответствующего типа (см. А.2).

При отсутствии основного средства отображения границы зоны 1 определяют по допустимым углам обзора важных и часто используемых средств отображения информации (см. А.2);

3) для каждого элемента пульта управления измеряют его минимальное расстояние от осей X и Y (X_υ и Y_υ), которые затем откладывают с учетом знака в прямоугольных системах координат (X_υ,υ и Y_υ,υ) в последовательности, определяемой n-м алгоритмом ввода команд, распоряжений и сообщений, где на оси υ откладывают номер очередного шага алгоритма.

Точки на графике в системе координат X_υ,υ и Y_υ,υ на очередном шаге алгоритма нумеруют в соответствии с номером элемента пульта, применяемого на конкретном шаге;

4) на построенных графиках через точку с максимальным значением координат X_υ (или Y_υ) проводят прямую, параллельную оси υ. Затем проводят аналогичные линии через все последующие элементы. Если на ту или иную прямую μ попадают два или более элементов, то независимо от значения υ эти элементы считают сгруппированными по уровню μ;

5) на построенных графиках наносят линии, определяющие границы зоны 1;

6) на графиках $X(\upsilon)$ *и* $Y(\upsilon)$ элементы объединяют в вертикальные и горизонтальные группы в случае, если они составляют непрерывный ряд с координатами, отвечающими условию:

$$X_{\upsilon+1} - X_\upsilon \le a_\text{ф};\quad Y_{\upsilon+1} - Y_\upsilon \le a_\text{ф}, \tag{А.18}$$

где $a_\text{ф}$ — трехкратное значение угла фовеального зрения ($a_\text{ф} = 3\,'$), выраженное в линейных единицах;

наклонное группирование проводят объединением не менее трех последовательно применяемых элементов, отстоящих от линии маршрута их применения на величину $a_\text{ф}$. Наклонное группирование элементов проводят только в пределах каждой зоны;

7) по результатам группирования вычисляют коэффициенты группируемости элементов $\eta^{I(II)}_{X(Y)}$ в каждой зоне по формуле

$$\eta^{I(II)}_{X(Y)} = \frac{\upsilon^{I(II)}_{\text{в.г (г.г)}} + \upsilon^{I(II)}_{\text{н.г}} + \mu_{\text{ур}} - 2}{2(\upsilon_{\text{общ}} - 1)}, \qquad \text{(A.19)}$$

где $\upsilon_{\text{в г (г.г)}}$ — число вертикальных групп (горизонтальных групп);

$\upsilon_{\text{н.г}}$ — число наклонных групп;

$\mu_{\text{ур}}$ — число уровней группирования;

$\upsilon_{\text{общ}}$ — общее число элементов;

8) вычисляют степень случайности в размещении элементов, которая характеризуется коэффициентом $\beta^{I(II)}_{X(Y)}$, по формулам:

$$\beta^{I(II)}_{X} = \frac{\sum\limits_{\upsilon=1}^{\gamma^{I(II)}_{\text{общ}}-1} \left(X_{\upsilon+1} - X_{\upsilon}\right)^2}{\sum\limits_{\upsilon=1}^{\gamma^{I(II)}_{\text{общ}}-1} \left(X_{\upsilon}\right)^2} \cdot \frac{\gamma^{I(II)}_{\text{общ}}}{\gamma^{I(II)}_{\text{общ}} - 1};$$

$$\beta^{I(II)}_{Y} = \frac{\sum\limits_{\upsilon=1}^{\gamma^{I(II)}_{\text{общ}}-1} \left(Y_{\upsilon+1} - Y_{\upsilon}\right)^2}{\sum\limits_{\upsilon=1}^{\gamma^{I(II)}_{\text{общ}}-1} \left(Y\right)^2} \cdot \frac{\gamma^{I(II)}_{\text{общ}}}{\gamma^{I(II)}_{\text{общ}} - 1}, \qquad \text{(A.20)}$$

где X_{υ}, Y_{υ} — соответствующие координаты элементов пульта;

$\gamma^{I}_{\text{общ}}$ — количество шагов маршрута применения элементов в зоне I с учетом фиктивных элементов (фиктивный элемент — отрезок границы зоны I, начало и конец которого фиксируют соответственно моменты перехода маршрута применения элементов пульта из зоны I в зону II и обратно);

$\gamma^{II}_{\text{общ}}$ — количество шагов маршрута применения элементов в зоне II с учетом элементов зоны I, с которых начинается и заканчивается маршрут;

9) нормируемый коэффициент $\beta^{I_0(II_0)}_{X(Y)}$

$$\beta^{I_0(II_0)}_{X(Y)} = \frac{\beta^{I(II)}_{X(Y)}}{4}; \qquad \text{(A.21)}$$

10) суммарный показатель упорядоченности по зонам I и II $\delta^{I(II)}_{X(Y)}$ вычисляют по формуле

$$\delta_{X(Y)}^{I(II)} = \frac{\beta_{X(Y)}^{I_0(II_0)} + \eta_{X(Y)}^{I(II)}}{2}; \qquad (A.22)$$

11) общую упорядоченность элементов по осям X и Y с учетом взаимного влияния зон I и II $\delta_{X(Y)}$ вычисляют по формуле

$$\delta_{X(Y)} = \delta_{X(Y)}^{I} + \delta_{X(Y)}^{II} - \delta_{X(Y)}^{I}\delta_{X(Y)}^{II} \qquad (A.23)$$

и для всего пульта при выполнении W-го алгоритма общую упорядоченность элементов $\delta_{общ}^{n}$ вычисляют по формуле

$$\delta_{общ}^{n} = \frac{\delta_X + \delta_Y}{2}; \qquad (A.24)$$

12) общую упорядоченность размещения элементов с учетом весомости каждого n-го алгоритма Z_3 вычисляют по формуле

$$Z_3 = \sum_{n=1}^{N} \delta_{общ}^{n} W_n \qquad (A.25)$$

УДК 331.015.012:629.7.08:006.354 ОКС 13.180 Т58 ОКСТУ 0029

Ключевые слова: общие эргономические требования, рабочее место диспетчера, служба управления воздушным движением, средства отображения информации, органы управления, пульт управления, рабочее кресло, освещение, шум, микроклимат

Редактор *Т С Шеко*
Технический редактор *Л А Кузнецова*
Корректор *М С Кабашова*
Компьютерная верстка *А С Юфина*

Изд лиц № 021007 от 10 08 95 Сдано в набор 30.12 96 Подписано в печать 27 01 97.
Усл печ л 1,40 Уч -изд л 1,10 Тираж 198 экз С 76 Зак 78

ИПК Издательство стандартов
107076, Москва, Колодезный пер , 14
Набрано в Издательстве на ПЭВМ
Филиал ИПК Издательство стандартов — тип "Московский печатник"
Москва, Лялин пер , 6

gost.e-ecolog.ru