

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

АНАЛИЗ ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АППАРАТА ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ *MEDURANT TRANSPORT*

Алефиренко Виктор Михайлович,

*«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», канд. техн. наук, доцент,
г. Минск*

Старовойтов Александр Юрьевич,

*«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», магистрант,
г. Минск*

Карпович Наталья Сергеевна,

*«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», магистрант,
г. Минск*

ANALYSIS OF ENGINEERING AND PSYCHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE ARTIFICIAL LUNG VENTILATION DEVICE *MEDURANT TRANSPORT*

Alefirenko Viktor Mikhailovich,

*«Belarus State University of Informatics and Radioelectronics», Ph.D, associate professor,
Minsk*

Starovoytov Aleksandr Jurjevich,

*«Belarus State University of Informatics and Radioelectronics», master student,
Minsk*

Karpovich Natalya Sergeevna,

*«Belarus State University of Informatics and Radioelectronics», master student,
Minsk*

Аннотация. В работе проведен анализ размеров и светотехнических характеристик панели управления и компонентов аппарата искусственной вентиляции легких *MEDURANT Transport* на соответствие требованиям инженерной психологии.

Abstract. The analysis of sizes and light technical characteristics of the artificial lung ventilation device *MEDURANT Transport* control panel for compliance with the requirements of engineering psychology is carried out.

Ключевые слова: медицинская электроника, аппарат искусственной вентиляции легких, панель управления, инженерная психология, анализ.

Keywords: artificial lung ventilation device, medical electronics, control panel, engineering psychology, analysis.

Интерес к аппаратам искусственной вентиляции легких (ИВЛ) за последний год вырос в разы. Это прежде всего связано с тем, что показатели выживаемости при эпидемии коронавирусной инфекции напрямую зависят от количества ИВЛ, имеющихся в распоряжении медиков страны. Как правило, приоритетом при выборе конкретной модели аппаратов ИВЛ потребителем являются его технические характеристики, а характеристики, определяющие его совместимость с человеком-оператором, не учитываются. Это может приводить к ошибкам оператора, связанными с неверным считыванием информации с дисплея или неправильной установкой параметров при работе с аппаратом.

Проведение исследований на соответствие параметров каждой модели ИВЛ требованиям инженерной психологии является достаточно трудоемкой задачей, так как предлагаемая для этого методика [1] достаточно объемна. Поэтому в [2] предлагается провести классификацию приборов по категориям и группам, выбрать конкретную группу приборов, провести предварительный анализ различных моделей каждой группы и выбрать для дальнейших исследований типовой представитель. Как показал проведенный анализ, типовым представителем аппаратов ИВЛ является портативный аппарат *MEDURANT Transport* компании *WEINMANN* [2, 3], внешний вид которого представлен на рисунке 1.

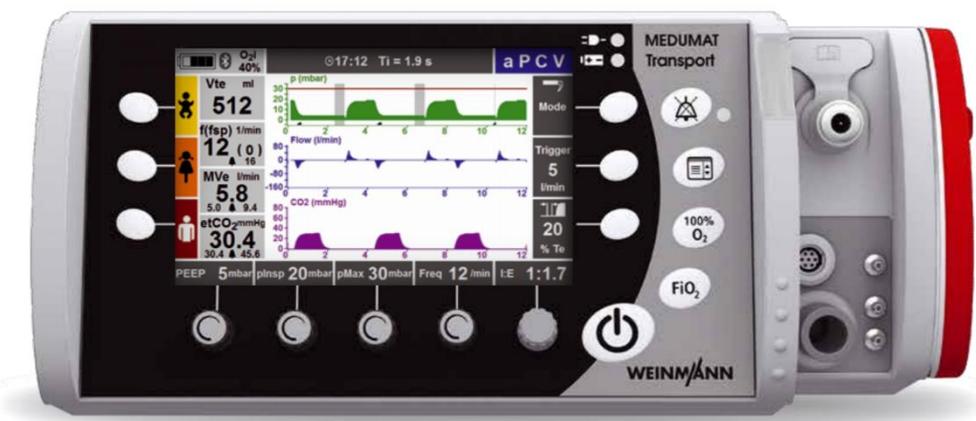


Рисунок 1 – Аппарат ИВЛ MEDURANT TRANSPORT

Анализ соответствия панели управления (ПУ) прибора требованиям инженерной психологии включает в себя:

- расчет размеров ПУ;
- расчет размеров компонентов ПУ;
- расчет светотехнических характеристик компонентов.

Результаты анализа в значительной степени будут зависеть от правильности подготовки и обоснования исходных данных, которые используются для расчетов.

Исходные данные условно можно разделить на три группы [4, 5]:

– данные, определяемые возможностями самого оператора по приему и переработке информации;

– данные, определяемые условиями работы оператора с конкретным прибором;

– данные, относящиеся к самому прибору. К первой группе исходных данных относятся:

- угловые размеры соответствующих зон обзора оператора;
- оперативный угол зрения оператора;
- объем зрительного восприятия;
- пределы контраста.

Все исходные данные, относящиеся к первой группе, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Инженерно-психологические характеристики оператора

Наименование	Обозначение	Величина
Периферическое зрение оператора по горизонтали	$\alpha_{Г}$	90°
Периферическое зрение оператора по вертикали	$\alpha_{В}$	75°
Величина угла оперативного поля зрения	$\alpha_{ОП}$	5°
Объем зрительного восприятия	$N_{ЗВ}$	5
Допустимый угловой размер простых знаков	$\alpha_{ПЗ}$	15'
Допустимый угловой размер сложных знаков	$\alpha_{СЗ}$	30'
Пределы контраста	K	0,6 - 0,95

Ко второй группе исходных данных относятся:

- расстояние до ПУ;
- минимальная и максимальная освещенность рабочего места оператора.

Исходные данные для анализа ПУ, определяемые условиями работы оператора, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные, определяемые условиями работы оператора

Наименование	Обозначение	Величина
Расстояние до панели управления	l	0,5 м
Минимальная освещенность	E_{min}	300 лк
Максимальная освещенность	E_{max}	500 лк

Минимальная и максимальная освещенность рабочего места оператора выбиралась согласно рекомендациям [6, 7].

К третьей группе исходных данных относятся:

- размеры ПУ;
- размеры компонентов ПУ;

– количество компонентов на ПУ;

– цветовые характеристики компонентов ПУ (коэффициенты отражения);

– число знаков индикаторного устройства. Некоторые исходные данные, относящиеся к самому прибору, представлены в таблице 3.

Исходные данные, относящиеся к самому прибору

Наименование прибора	Размеры панели управления		Количество компонентов, шт	Количество знаков дисплея, расположенных по	
	Высота, мм	Ширина, мм		вертикали, N_B , шт	горизонтали N_G , шт
Аппарат ИВЛ <i>MEDUMAT Transport</i>	163,0	345,0	20	21	51

Значения коэффициентов отражения поверхностей различного цвета для прибора выбирались из [8, 9].

Максимально допустимый размер ПУ исходя из горизонтального и вертикального угловых размеров зоны периферического зрения оператора и заданного расстояния l до ПУ определяется по следующим формулам [4, 5]:

$$L_{\text{ПУ max}} = 2 \cdot l \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_G}{2}, \quad (1)$$

$$H_{\text{ПУ max}} = 2 \cdot l \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_B}{2}, \quad (2)$$

$$S_{\text{ПУ max}} = L_{\text{ПУ max}} \cdot H_{\text{ПУ max}} \quad (3)$$

где l – расстояние до ПУ;

α_G – горизонтальный угол периферического зрения;

α_B – вертикальный угол периферического зрения.

Минимально допустимые размеры ПУ определяются исходя из объема оперативной памяти и оперативного (центрального) поля зрения оператора.

Площадь оперативного поля зрения может быть определена по формуле:

$$S_{\text{ПЗ}} = h \cdot h = (2 \cdot l \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_{\text{оп}}}{2})^2, \quad (4)$$

где h и $\alpha_{\text{оп}}$ – линейный и угловой размеры оперативного поля зрения.

Тогда минимальная площадь ПУ, удовлетворяющая требованиям инженерной психологии, может быть определена как:

$$S_{\text{ПУ min}} = \frac{N}{N_{\text{ЗВ}}} \cdot S_{\text{ПЗ}}, \quad (5)$$

где N – количество компонентов, расположенных на ПУ, шт;

$N_{\text{ЗВ}}$ – объем зрительного восприятия.

В количество принятых для расчетов компонентов входят следующие:

- дисплей;
- индикаторы;
- разъёмы;
- кнопки и надписи предназначения кнопок;
- фирменный знак или название производителя;
- название модели прибора.

Кнопка и надпись предназначения кнопки считается как один компонент, в независимости от того, где располагается надпись (на кнопке, под или над ней).

В соответствии с требованиями инженерной психологии для обеспечения оптимального восприятия компонента фактическая площадь ПУ должна лежать в пределах:

$$S_{\text{ПУ min}} \leq S_{\text{ПУ ф}} \leq S_{\text{ПУ max}}. \quad (6)$$

Результаты расчетов, проведенные по формулам (1) – (5), представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты расчетов размеров ПУ

Наименование прибора	N , шт	$L_{\text{ПУ max}}$, мм	$H_{\text{ПУ max}}$, мм	$S_{\text{ПУ min}}$, мм ²	$S_{\text{ПУ ф}}$, мм ²	$S_{\text{ПУ max}}$, мм ²
Аппарат ИВЛ <i>MEDUMAT Transport</i>	20	1000	767,32	15250,2	56235	767320

Как видно из таблицы фактические размеры панели управления прибора лежат в требуемых пределах, что говорит о полном соответствии размера ПУ требованиям инженерной психологии.

Размеры каждого отдельного компонента ПУ (надписей, символов, знаков) должны быть такими, чтобы с заданного до ПУ расстояния человек-оператор мог безошибочно их распознавать и своевременно считывать информацию с индикаторов и надписей.

Требуемая высота знака зависит как от расстояния до него, так и от освещенности. Для

расчета минимально допустимой высоты простого и сложного знаков используется формула [4, 5]:

$$H_{\text{З min}} = 2 \cdot l \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2}, \quad (7)$$

где l – расстояние до ПУ, мм;

α_3 – допустимый (минимальный) угловой размер знака, град.

Для расчета минимальной допустимой ширины простого и сложного знаков используется формула [4, 5]:

$$B_{3\ min} = F \cdot H_{3\ min}, \quad (8)$$

где F – формат знака (обычно $F = 2/3, 3/5, 5/7...$);

$H_{3\ min}$ – минимально допустимая высота простого и сложного знаков.

Результаты расчетов размеров компонентов (надписей) ПУ аппарата ИВЛ *MEDUMAT Transport* представлены в таблице 5. Для сравнения были выбраны наименьшие по размерам знаки.

Таблица 5

Фактические и минимально допустимые размеры надписей ПУ

Наименование прибора	Тип знака	Фактическая высота знака, $H_{3\ ф}$, мм	Минимально допустимая высота знака, $H_{3\ min}$, мм	Фактическая ширина знака, $B_{3\ ф}$, мм	Минимально допустимая ширина знака, $B_{3\ min}$, мм	Проверка выполнения условия
Аппарат ИВЛ <i>MEDUMAT Transport</i>	простой	–	2,2	–	1,47	–
	сложный	4	4,4	4	2,93	Не выполняется

Стоит отметить, что все знаки, размещенные на панели управления, относятся к сложному типу. Как видно из таблицы высота сложных знаков прибора не соответствует требованиям инженерной психологии.

Расчет минимальных размеров многокомпонентного индикаторного устройства для простых и сложных знаков проводится по формулам [4, 5]:

$$H_{и\ min} = 1,5 \cdot (N_{в} + 1) \cdot H_{3\ min}, \quad (9)$$

$$B_{и\ min} = 1,5 \cdot (N_{г} + 1) \cdot B_{3\ min}, \quad (10)$$

где $N_{в}$ и $N_{г}$ – число знаков многокомпонентного индикаторного устройства, расположенных соответственно по вертикали и горизонтали;

$H_{3\ min}$ – минимально допустимая высота простого или сложного знака;

$B_{3\ min}$ – минимально допустимая ширина простого или сложного знака.

Результаты расчетов размеров многокомпонентного индикаторного устройства (дисплея) аппарата ИВЛ *MEDUMAT Transport* представлены в таблице 6.

Таблица 6

Фактические и минимально допустимые размеры дисплея

Фактические размеры дисплея		Количество знаков дисплея по		Минимально допустимая высота дисплея для показа		Минимально допустимая ширина дисплея для показа	
высота, $H_{и\ ф}$, мм	ширина, $B_{и\ ф}$, мм	вертикали, $N_{в}$, шт	горизонтали, $N_{г}$, шт	простого знака, $H_{и\ min}$, мм	сложного знака, $H_{и\ min}$, мм	простого знака, $B_{и\ min}$, мм	сложного знака, $B_{и\ min}$, мм
97,5	154	21	51	72,6	145,2	114,66	228,54

В результате сравнения фактических значений размеров дисплея и рассчитанных минимально допустимых, можно отметить, что размеры дисплея не соответствуют требованиям инженерной психологии только для сложных знаков.

В соответствии с требованиями инженерной психологии для обеспечения оптимального восприятия компонента (предмета) на некотором фоне необходимо обеспечить контрастность в пределах [4, 5]:

$$0,6 \leq K \leq 0,95, \quad (11)$$

где K – коэффициент контраста.

Для прямого и обратного контраста коэффициент контраста определяется по формулам [4, 5]:

$$K_{п} = (B_{ф} - B_{п}) / B_{ф}, \quad (12)$$

$$K_{о} = (B_{п} - B_{ф}) / B_{п}, \quad (13)$$

где $B_{ф}$ – яркость фона, кд/м²;

$B_{п}$ – яркость предмета (компонента, надписи, индикатора), кд/м².

В общем случае яркость предмета или фона может состоять из двух составляющих – яркости отражения $B_{о}$ и яркости излучения $B_{и}$ [4, 5]:

$$B_{п}(\phi) = B_{о} + B_{и}. \quad (14)$$

Для пассивных (несветящихся) компонентов $B_{п} = B_{о}$, для активных (светящихся) компонентов $B_{п} = B_{о} + B_{и}$.

Яркость отражения $B_{о}$ определяется уровнем внешней освещенности данной поверхности и ее отражающими свойствами:

$$B_{о} = \frac{E \cdot \rho}{\pi}, \quad (15)$$

где E – освещенность поверхности, кд/м²;
 ρ – коэффициент отражения поверхности.

Яркость излучения $V_{И}$ определяется силой света источника излучения и величиной площади светящейся поверхности:

$$V_{И} = \frac{I}{S \cdot \cos\beta}, \quad (16)$$

где I – сила источника освещения в рассматриваемом направлении;

S – площадь светящейся поверхности;

$\cos\beta$ – угол, под которым видна светящаяся поверхность наблюдателю (угол между нормалью к светящейся поверхности и рассматриваемым направлением).

Следует отметить, что условие (11) для любых пассивных компонентов ПУ, обладающих как прямым, так и обратным контрастом, является необходимым, но еще недостаточным для оптимального восприятия их оператором. Оптимальное восприятие зависит также и от углового размера компонента, который вместе с яркостью отражения фона, зависящей от освещенности, определяет уровень порогового контраста $K_{ПОР}$ [4, 5].

Пороговый контраст характеризует предельно возможное для глаза различие между яркостями предмета и фона для данной освещенности и размера (высоты) предмета. Поэтому оперативный порог должен быть в 10-15 раз больше предельно возможного, то есть:

$$K_{П}, K_{О} \geq (10-15) \cdot K_{ПОР}. \quad (17)$$

Величина порогового контраста $K_{ПОР}$ определяется по графику [4, 5] для соответствующих значений яркости фона $V_{Ф}$, рассчитанных по формулам (12) и (13), и углового размера компонента (знака), рассчитанного по формуле:

$$\alpha_3 = 2 \cdot \operatorname{arctg} \frac{H_3}{2 \cdot l}, \quad (18)$$

где H_3 – высота компонента ПУ;

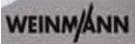
l – расстояние до ПУ.

Расчет по формуле (18) может проводиться не для всех компонентов, а только для компонента с минимальным угловым размером (минимальной высотой). Если для такого компонента условие (17) будет выполнено, то для остальных компонентов, имеющих больший размер, оно будет выполнено тем более. Если для минимального компонента условие (17) не будет выполнено, то далее проводится расчет для другого ближайшего по размерам компонента. Такой подход позволит сократить объем вычислений без потери информации, на основании которой будет проводиться анализ.

В таблице 7 представлены результаты проведенных расчетов коэффициента контраста пассивных компонентов ПУ аппарата ИВЛ *MEDUMAT Transport* при минимальной освещенности. Названия цветов взяты из [10, 11].

Таблица 7

Результаты расчета светотехнических характеристик пассивных компонентов ПУ при минимальной освещенности 300 лк

Компонент	Наименование цвета компонента	Наименование цвета фона	Коэффициент отражения компонента, $\rho_{\text{комп}}$, лк	Коэффициент отражения фона, $\rho_{\text{фона}}$, лк	Коэффициент контраста, K
Органы управления					
	Белый	Пурпурно-черный	0,9	0,07	0,92
	Серый нейтральный	Пурпурно-черный	0,353	0,07	0,8
	Серый нейтральный	Пур-пурно-черный	0,353	0,07	0,8
	Белый	Пур-пурно-черный	0,9	0,07	0,92
	Белый	Серый нейтральный	0,9	0,353	0,6
	Белый	Серый нейтральный	0,9	0,353	0,6
	Белый	Серый нейтральный	0,9	0,353	0,6
	Белый	Серый нейтральный	0,9	0,353	0,6
Надписи					
	Черный	Серый нейтральный	0,03	0,353	0,915

	Черный	Серый нейтральный	0,03	0,353	0,915
	Черный	Белый	0,03	0,9	0,87
	Черный	Белый	0,03	0,9	0,87

Как видно из таблицы, все компоненты соответствуют требованиям инженерной психологии по контрасту.

Далее была проведена проверка выполнения условия порогового контраста (17). Можно считать, что условие порогового контраста выполняется для всех компонентов, если оно выполняется для компонента с минимальным V_{ϕ} и минимальным α_3 . Для таких компонентов были рассчитаны их угловые размеры, под которыми они видны

оператору с рабочего расстояния, и по их значениям и соответствующим значениям яркости фона вокруг этих компонентов V_{ϕ} , рассчитанных по формуле (15), по графику [4, 5] определены значения порогового контраста $K_{\text{ПОР}}$, а затем соответствующие значения $N = K / K_{\text{ПОР}}$ для проверки выполнения условия (17). Значения пороговых контрастов и результаты проверки выполнения условия представлены в таблице 8.

Таблица 8

Значения пороговых контрастов и проверка выполнения условия

Компонент	Коэффициент отражения фона, рфона, лк	Коэффициент контраста компонента, K	Минимальная освещенность, лк	Яркость фона, V_{ϕ} , кд/м ²	Угловые размеры компонентов, α_3 , мин	Величина порогового контраста, $K_{\text{ПОР}}$	Проверка выполнения условия, $K / K_{\text{ПОР}} \geq 10$
	0,9	0,87	300	85,98	7,56	0,08	Выполняется

Следует отметить, что для расчета использовался минимальный знак компонента: цифра «2». Как видно из результатов, представленных в таблице 8, условие порогового контраста для этого знака выполняется. Следовательно, для всех остальных компонентов условие также будет выполняться.

Таким образом, в результате анализа типового представителя аппаратов ИВЛ – портативного аппарата искусственной вентиляции лёгких *MEDUMAT Transport* компании *WEINMANN*, было выявлено, что размеры сложных знаков на панели управления и размеры дисплея для сложных знаков не соответствуют требованиям инженерной психологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алефиренко, В. М. Методы анализа эргономических, инженерно-психологических и эстетических характеристик технических средств / Алефиренко В. М, Старовойтов А. Ю. // Danish Scientific Journal. – 2019. – Vol. 1, № 31. – С. 45 – 50.
2. Алефиренко, В. М. Выбор технических средств для анализа инженерно-психологических, эргономических и эстетических характеристик / В. М. Алефиренко, А. Ю. Старовойтов // Danish Scientific Journal. – 2020. – Vol. 1, № 37. – С. 64 – 71.
3. Аппарат искусственной вентиляции лёгких портативный *MEDUMAT Transport* [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://medcatalog.by/products/apparat-iskusstvennoy-ventilyatsii-lyogkih-portativniy-medumat-transport>.

4. Основы инженерной психологии: учеб. для тех. вузов / Б.А. Душков [и др.]; под ред. Б.Ф. Ломова. – М. : Высш. шк., 1986. – 448 с.

5. Справочник по инженерной психологии / С.В. Борисов [и др.] ; под ред. Б.Ф. Ломова. – М. : Машиностроение, 1982. – 368 с.

6. Нормы освещения [Электронный ресурс] / Топ-свет. – Режим доступа: <https://top-svet.ru/info/lighting-guidelines/>.

7. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200105707>.

8. Сурженко, А.Е. Декоративные малярные работы / А.Е. Сурженко, Н.А. Сорокатый. – Минск. – 1969. – 62 с.

9. Шестнадцатеричные Цветовые Схемы, Графики, Палитры и Преобразования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://encycolorpedia.ru/50622c>.

10. Инструмент для подбора цветов и генерации цветовых схем. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://colorscheme.ru/color-names.html>

11. ONLINE IMAGE COLOR PICKER [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pinetools.com/image-color-picker>.