

*Горячкин Б. С., кандидат технических наук, доцент; Московский
государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Гаранов К. В., магистрант, Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана*

*Бгатцев А. В., магистрант, Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана*

ПОВЫШЕНИЕ ЭРГОНОМИЧНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ПРОЕКЦИОННЫХ ДИСПЛЕЕВ

Аннотация: В статье проведено исследование влияния использования проекционных дисплеев на эргономичность транспортных средств. Рассмотрены преимущества использования данной технологии. Также, в статье описаны специфические характеристики проекционных дисплеев, из них выделены критичные (контрастность, угловые размеры объектов изображения и их разрешение), анализируются их допустимые значения. Для оценки временного преимущества проекционных дисплеев в сравнении с традиционной комбинацией приборов проведен расчет и приведены соответствующие выводы по времени, которое необходимо для осмотра панели приборов и навигационной системы.

Ключевые слова: Проекционный дисплей, HUD, эргономика транспортных средств, виртуальное изображение, характеристики проекционных дисплеев.

Annotation: The article studies the impact of the use of projection displays on the ergonomics of vehicles. The advantages of using this technology are considered. Also, the article describes the specific characteristics of projection displays, critical ones (contrast, angular sizes of image objects and their resolution) are highlighted, their

acceptable values are analyzed. To assess the time advantage of projection displays in comparison with the traditional dashboard, a calculation was made and the corresponding conclusions on the time required to inspect the instrument panel and navigation system are presented.

Keywords: Projection display, HUD, ergonomics of vehicles, virtual image, the characteristics of projection displays.

Введение

В настоящее время всё большую популярность набирают системы проекционных дисплеев (Head-Up Display – HUD). Разработка HUD началась еще в 40-х годах, тогда была предложена идея использования таких дисплеев в военной авиации, конкретно – на истребителях, так как скорость полета высокая и отвлечение даже на одну секунду влечет за собой риски. HUD-системы позволяют не отвлекаться на традиционные приборы и указатели, при этом получая всю необходимую информацию.

С конца 80-х технология HUD начала применяться в автомобилестроении. Использование HUD в автомобиле позволяет представлять актуальную информацию для водителя непосредственно перед глазами без отвлечения от дороги, что повышает безопасность дорожного движения. Отображаемая информация может варьироваться в зависимости от требований к текущей ситуации, например, указания системы навигации, скорость, показания оборотов двигателя и т.п.

Изображение, спроецированное на ветровое стекло, виртуально воспринимается как парящее в воздухе несколько выше капота (именно в той области, куда направлен взгляд большую часть времени). Отображение информации на ветровом стекле является менее напрягающей и в то же время более безопасной из-за отсутствия отвлечения на традиционную панель приборов.

Система проецирования является достаточно сложной и многокомпонентной, включая в себя проецирующее устройство, систему линз и

зеркал, технологии повышения коэффициента отражения от лобового стекла и компенсации искажений (рис. 1).

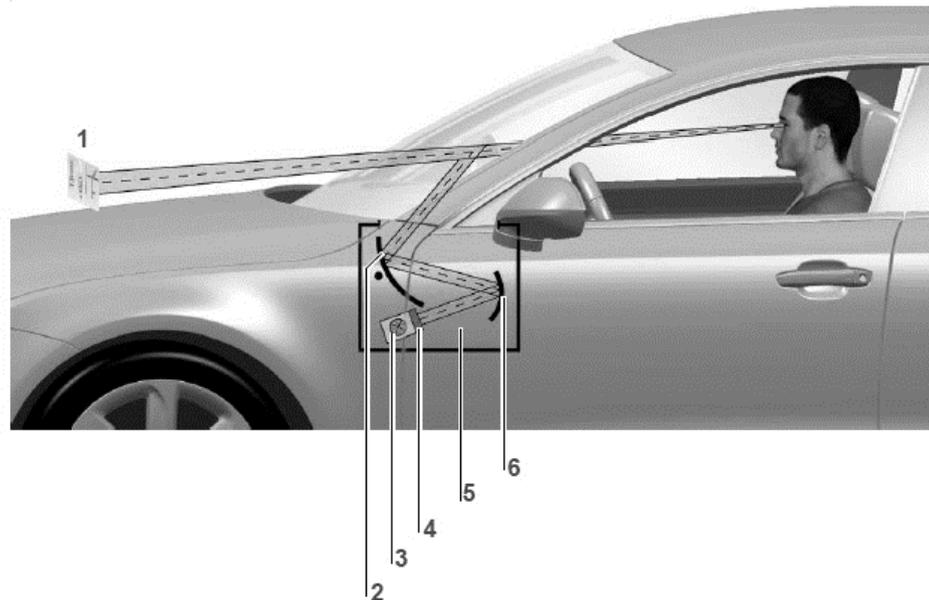


Рис. 1. Проекционный дисплей.

На рис. 1 следующие обозначения: 1 — виртуальное изображение; 2 — подвижное зеркало; 3 — источник света; 4 — дисплей; 5 — блок управления проекции; 6 — неподвижное зеркало.

Данные, необходимые для отображения на HUD получаются из бортового компьютера и выводятся на проектор. С помощью системы линз и зеркал компенсируются искажения, получаемые из-за изгиба лобового стекла, а особые технологии производства стекол позволяют минимизировать эффект раздваивания отражения, возникающего из-за наличия двух границ сред.

Похожие технологии, называемые НМТ (Head/Helmet Mounted Display) актуальны и для повышения безопасности мотоциклистов, а также для повышения доступности информации летчикам. В данной технологии восприятие информации происходит через проецирование виртуального изображения через очки или визор шлема.

Проекционные дисплеи наиболее часто встречаются в автомобилях, поэтому задачей данной статьи будет являться исследование эргономичности проекционных дисплеев путем определения временного выигрыша при использовании данной технологии.

Преимущества технологии HUD для представления водителям актуальной реалистичной информации

Отсутствие необходимости обращения к разным источникам информации позволяет обеспечить для водителя комфортный режим вождения, так как не требуется производить лишние движения головой и глазами. Также, это позволяет снизить физическую усталость зрения из-за сокращения количества объектов, на которых необходимо фокусироваться.

Можно выделить следующие преимущества использования HUD:

1. Концентрация важной для водителя информации в одном месте.
2. Улучшение временного режима принятия решений.
3. Сокращение количества движений для получения информации.
4. Отсутствие необходимости фокусировки зрения на разноудаленных объектах.

Все приведенные выше преимущества проекционных дисплеев позволяют уменьшить утомляемость водителя, повысить концентрацию внимания на дорожной обстановке, тем самым повышая безопасность вождения, снижая количество аварийных ситуаций, и, как следствие смертности на дорогах.

На первый взгляд, приведенные характеристики и параметры относятся к эргономическим – и специфика восприятия, и работа зрительного анализатора, и сокращение времени, которое может быть потрачено на восприятие отображаемой информации и принятие решения, и уменьшение моторных действий. Однако, насколько это может быть эффективным и повысить в целом эргономичность транспортного средства, предстоит подкрепить более весомыми доказательствами.

Специфика и особенности проекционных дисплеев

Проекционные дисплеи обладают характеристиками, присущими только этим системам. Такими характеристиками являются [1]:

- Область зрения (Field of View – FOV)
- Разрешение дисплея

- Угловое разрешение виртуального изображения
- Область движения головы (Head Motion Box = Eyebox)
- Расстояние до виртуального изображения
- Яркость и контрастность

Рассмотрим эти характеристики более подробно.

Область зрения (FOV) - это телесный угол отображаемого изображения, измеренный из центра области движения головы (Eyebox). Обычно значения колеблются от небольших дисплеев размером $4^{\circ} \times 2^{\circ}$ до $12^{\circ} \times 6^{\circ}$ в больших дисплеях дополненной реальности.

Линейное разрешение дисплея должно быть таковым, чтобы обеспечить достаточное **угловое разрешение** виртуального изображения, после его прохождения через оптическую систему. Минимальным угловым разрешением является значение 60 ppd (pixels per degree – пикселей на градус), обычный человек не замечает улучшения качества изображения при увеличении углового разрешения, т.к. острота зрения (расстояние между двумя равноудаленными различимыми для глаза точками) составляет 1 угловую минуту. Например, при разрешении дисплея 860×480 и FOV равным $10^{\circ} \times 5^{\circ}$ угловое разрешение будет 86 ppd по горизонтали и 96 ppd по вертикали, что выше минимальных 60 ppd. При этом максимальный FOV (при угловом разрешении 60 ppd) будет $14,3^{\circ} \times 8^{\circ}$. Таким образом, разрешение дисплея тесно связано с FOV.

Область движения головы (eyebox) это область, при нахождении в которой изображение остается видимым, при выходе глаз водителя из этой области, изображение перестает быть видимым. Увеличение этой области позволяет водителю сохранять видимость виртуального изображения при небольших смещениях головы от обычного положения.

Расстояние до виртуального изображения зависит от предназначения системы. Обычно используется большое расстояние так, чтобы виртуальное изображение находилось за пределами автомобиля на уровне дороги. Обычно используют расстояние от 7 до 15 метров, этим достигается комфортное для глаз

положение изображения, минимизируя разницу расстояния между объектами фокусировки.

Яркость и контрастность изображения связаны между собой, так как нет возможности влиять на яркость фона (она зависит от времени суток/погодных условий). При этом возникает проблема разработки источника света с широким диапазоном яркости для достижения оптимальной контрастности изображения. Проекционный дисплей должен иметь высокую яркость для хорошей видимости в яркий солнечный день, но в то же время он должен иметь возможность затемнять изображение настолько, чтобы не ослеплять водителя в ночное время суток.

Из описанных выше особенностей проекционных дисплеев, можно выделить основные для восприятия информации являются контрастность, угловые размеры объектов изображения и их разрешение, эти параметры и будут являться критическими характеристиками проекционных дисплеев.

Контрастность влияет на отличимость изображения от фона. Для того, чтобы изображение было хорошо видно, необходимо, чтобы значение коэффициента контрастности HUD-дисплея было между 1,15 и 1,5 [2]. При значениях коэффициента контрастности ниже 1,15 изображение станет бледным, мало отличимым от фона, тем самым создавая напряжения для глаз, а при значениях выше 1,5 некомфортно будет смотреть на изображение, т.к. оно будет сильно ярче, чем фон, тем самым перекрывая обзор за изображением, при значении выше 4, изображение будет ослеплять.

Для расчета коэффициента контрастности проецируемого изображения на подсвечиваемый фон используется аддитивная формула [2; 3], т.к. яркость изображения суммируется с яркостью окружения

$$K_{HUD} = \frac{L_{DISPLAY} + L_{AMBIENT}}{L_{AMBIENT}}, \quad (1)$$

где K_{HUD} – коэффициент контрастности HUD

$L_{DISPLAY}$ – яркость дисплея

$L_{AMBIENT}$ – яркость окружения

Известно, что глубокой ночью яркость окружающей обстановки может быть ниже 10^{-3} кд/м², при этом в солнечный день она может достигать 10^4 кд/м². Автомобильные фары немного увеличивают освещенность ночью, но она всё так же остается на достаточно низком уровне.

Подставив предельные значения в формулу, построим график зависимости яркости дисплея от окружающей яркости, допустимые характеристики дисплея лежат в области между двумя линиями графика.

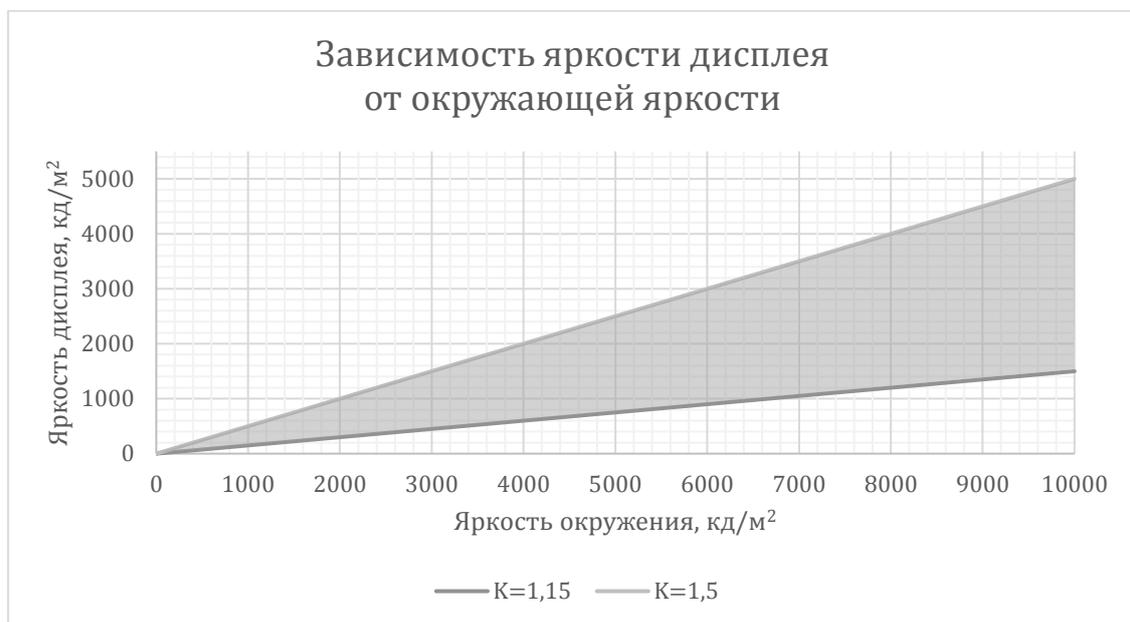


Рисунок 2. Зависимость яркости дисплея от окружающей яркости

Для адаптации яркости дисплея в соответствии с яркостью окружения, используются комбинированные датчики освещенности [4]. Автомобили, оснащенные проекционным дисплеем, имеют узконаправленный HUD-датчик, а система управления автоматически корректирует яркость дисплея в зависимости от окружающей среды. Тогда яркость должна регулироваться в соответствии с построенным выше графиком.

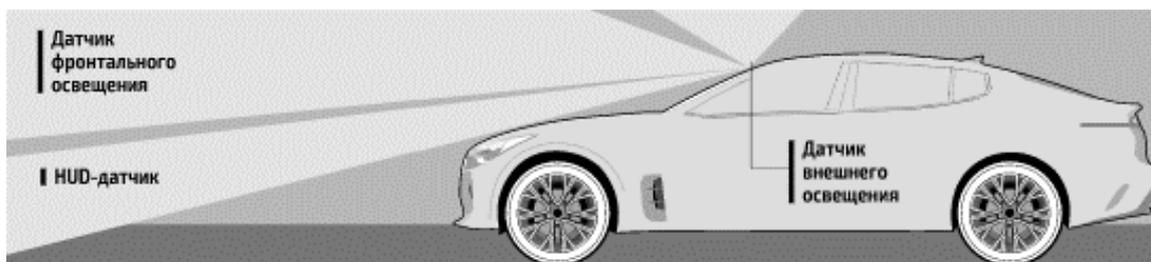


Рисунок 3. Комбинированный датчик освещённости

Угловые размеры также являются важной характеристикой объекта изображения, т.к. угловые размеры объекта влияют на различимость объекта. Пороговые значения восприятия знаковых элементов h_{zn}^p лежат в пределах 15-40' [5]. Желательно, чтобы эти элементы попадали в область центрального зрения, ограниченную единицами градусов, тогда нетрудно посчитать количество элементов, которое при благоприятном раскладе должно попадать в поле зрения, при этом известно, что объем зрительного восприятия для несвязанных элементов 7 ± 2 .

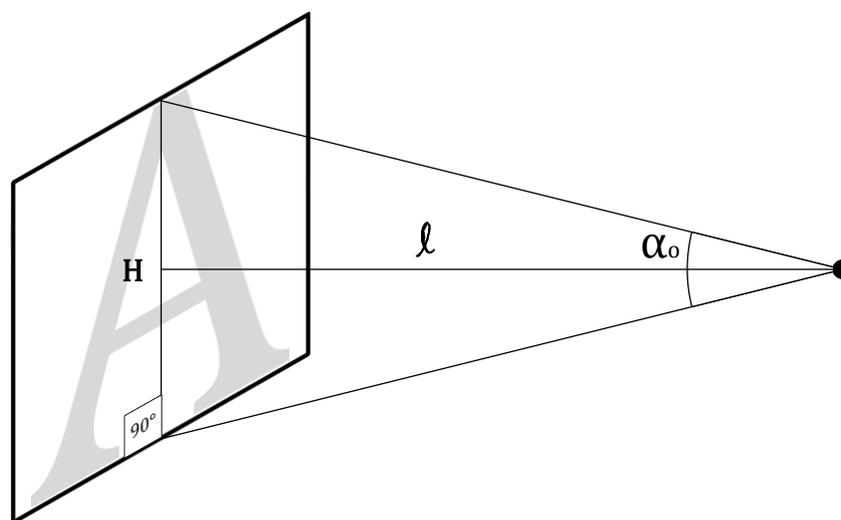


Рисунок 4. Размеры объекта

Размер объекта можно рассчитать по формуле

$$H = 2l \tan \frac{\alpha_0}{2}, \quad (2)$$

где H – размер элемента,

l – расстояние до виртуального изображения,

α_0 – угловой размер объекта.

Примем угловой размер элемента равный $40'$, т.к. это уменьшит нагрузку на зрение водителя и имея ввиду, что восприятие происходит с нестабильной платформы во время движения ТС. Тогда минимальные размеры элементов изображения можно рассчитать по формуле

$$H = 2l \tan \frac{40'}{2} \quad (3)$$

При расстоянии до виртуального изображения 10 м размер элемента будет равен более 11 см, что вполне укладывается в требования разработчика системы.

Частота изменения информации также является важной характеристикой, которую стоит учитывать при проектировании информационного дисплея. Время идентификации символьного элемента вычисляется по формуле [6]:

$$t_{и0} = \frac{i*k}{p}, \quad (4)$$

где i – информационный вес символа,

k – количество символов в элементе,

p – пропускная способность зрительного анализатора.

Принимая информационный вес символа для чисел 4 бит, рассчитанной по формуле Хартли; количество символов равным 3 (ориентируясь на показания скорости) и минимальную пропускную способность на корковом уровне восприятия в 20 бит/с, рассчитаем время идентификации для одного элемента.

$$t_{и0} = 1 * \frac{4*3}{20} = 1,8 \text{ с} \quad (5)$$

Тогда максимальная частота изменения самого часто изменяющегося параметра – показателя скорости – будет равна

$$f = \frac{1}{1,8} = 0,56 \text{ Гц} \quad (6)$$

Представленные выше эргономические параметры рассматривались для специфичных условий восприятия проекционных экранов. Учитывая условия восприятия, включая реальный масштаб времени, и состояние внешней операционной среды, все инженерно-психологические характеристики человека

принимались за минимально возможные граничные значения, чтобы обеспечить максимальную жесткость требований.

Оценка эргономичности автомобиля при технологии HUD

Эргономичность транспортного средства – залог безопасности дорожного движения. Чем меньше водитель отвлекается, тем больше внимания уделено дорожной ситуации, тем выше безопасность.

Использование проекционных дисплеев в автомобилях позволяет водителю не отвлекаться на комбинацию приборов. По данным исследований зрительного поведения водителей 5% общего времени уходит на комбинацию приборов, еще 3% на навигацию и иные органы управления [7].



Рисунок 5. Результаты исследования направления взгляда водителя

Для количественной оценки эргономичности через улучшение временного режима принятия решений произведем расчет времени осмотра приборной панели. Выбирая временную характеристику как основную, авторами учитывалось то обстоятельство, что именно время, отведенное на восприятие информации с приборов автомобиля или проекционного экрана, плюс время принятия решения по автомобильной обстановке, дает запас прочности и

гарантирует качество принимаемых решений, а, соответственно, и определяет максимально возможную безопасность на дороге.

При использовании традиционной комбинации приборов и навигатора водителю необходимо переводить взгляд между капотом, панелью приборов и навигатором. Для расчета времени обзора будем использовать следующую формулу для расчета времени обзора:

$$T_{DASH} = t_{к-п} + t_{п-н} + 2 * (t_{\phi} + t_{и}) + t_{н-к}, \quad (7)$$

где $t_{к-п}$ – время перевода взгляда капот – панель приборов,

$t_{п-н}$ – время перевода взгляда панель приборов – навигатор,

t_{ϕ} – время фиксации (восприятия),

$t_{и}$ – время идентификации (осмысления),

$t_{н-к}$ – время перевода навигатор – капот.

При использовании же проекционного дисплея отсутствует необходимость переводить взгляд между областями, поэтому будем использовать выражение:

$$T_{HUD} = t_{\phi} + t_{и} \quad (8)$$

Время перемещения взгляда рассчитаем исходя из углов между точками фиксации взгляда, тогда

$\alpha_{к-п}$ – угол перевода взгляда капот – панель приборов

$\alpha_{п-н}$ – угол перевода взгляда панель приборов – навигатор

$\alpha_{н-к}$ – угол перевода навигатор – капот

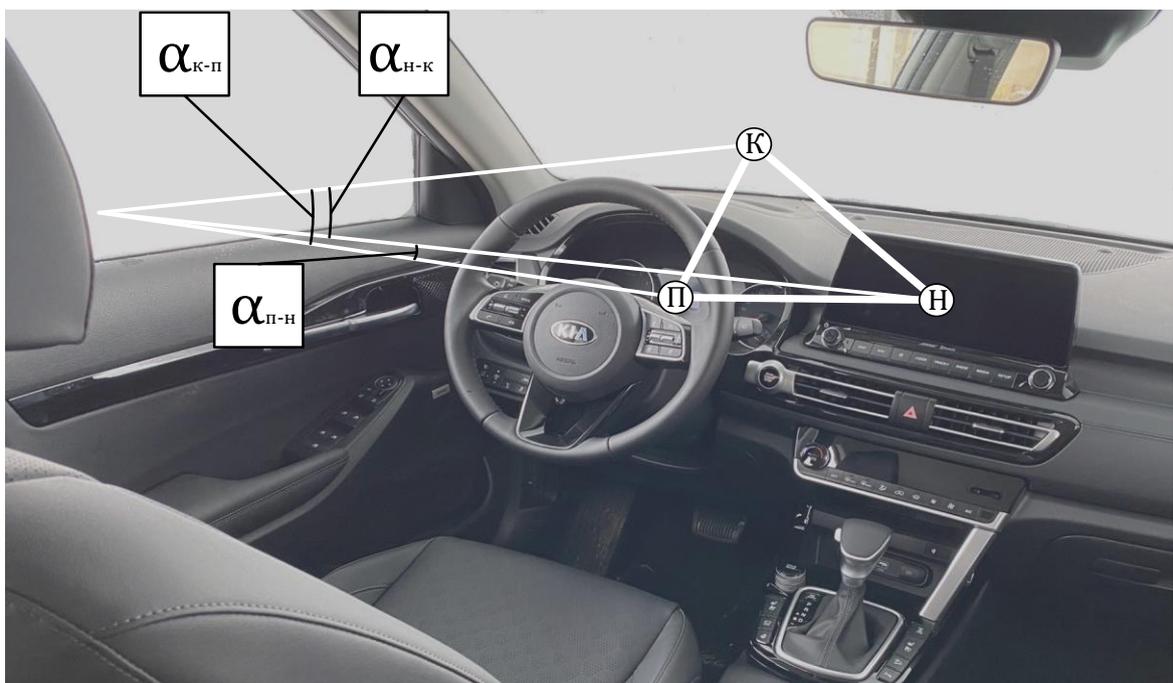


Рисунок 6. Углы перевода взгляда при вождении

Для расчетов примем: $\alpha_{K-P} = 20^\circ$, $\alpha_{P-H} = 35^\circ$, $\alpha_{H-K} = 40^\circ$.

Тогда, учитывая, что скорость перемещения взгляда (саккады) при перемещении взгляда на 20-40 градусов равна $300^\circ/\text{сек}$ [8],

$$t_{K-P} = \frac{20}{300} = 67 \text{ мс} \quad (9)$$

$$t_{P-H} = \frac{35}{300} = 117 \text{ мс} \quad (10)$$

$$t_{H-K} = \frac{40}{300} = 134 \text{ мс} \quad (11)$$

Время зрительного восприятия состоит из времени фиксации и времени идентификации. Продолжительность зрительной фиксации зависит от сложности восприятия объекта и колеблется от 200 мс при поиске простых фигур до 650 мс при ознакомлении с ситуацией. В настоящей работе рассматривается восприятие несвязанных элементов и объектов, не затрагивая нештатные и аварийные ситуации. Поэтому для расчётов принимается значение в 250 мс. Время идентификации сцены вычисляется по формуле [9]

$$t_{и} = n * \frac{i*k}{p}, \quad (12)$$

где n – количество элементов сцены,

i – информационный вес символа,

k – количество символов в элементе,

p – пропускная способность зрительного анализатора.

Принимая информационный вес символа для чисел 4 бит, рассчитанной по формуле Хартли; количество символов равным 3 (ориентируясь на показания скорости) и минимальную пропускную способность на корковом уровне восприятия в 20 бит/с, рассчитаем время идентификации для трёх элементов.

$$t_{и} = 3 * \frac{4*3}{20} = 1,8 \text{ с} \quad (13)$$

Подставим рассчитанные значения в выражения (7) и (8), получим

$$T_{DASH} = 4418 \text{ мс} \quad (14)$$

$$T_{HUD} = 2050 \text{ мс} \quad (15)$$

Таким образом, при использовании проекционного дисплея сокращается время осмотра показаний приборов и указателей более чем в 2 раза, в частности, на 2,3 секунды. Для дорожной обстановке это очень существенная разница, которая позволит значительно повысить безопасность дорожного движения при использовании технологии HUD.

Заключение

Технология проецирования необходимой информации на лобовое стекло улучшает эргономичность автомобиля для водителя, избавляет его от лишних движений, которые утомляют. Тем самым всё это повышает комфортность вождения автомобиля, это особенно важно тем, для кого вождение автомобиля – часть жизни, работа. Технология проецирования призвана повысить безопасность участников дорожного движения. Почти все производители автомобилей имеют (или разрабатывают) системы HUD и внедряют их в более дешевые классы автомобилей, тем самым популяризируя технологии и повышая безопасность на дорогах.

Библиографический список:

1. Electronics and LED Driver Reference Design for Augmented Reality Head-up Displays. Dallas: Texas Instruments Incorporated, 2018.
2. Kenneth W., Gish and Loren Staplin Human Factors Aspects of Using Head UP Displays. Lansdale: The Scientex Corporation, 1995.
3. Cary R. Spitzer Avionics: Elements, Software and Functions. 2 изд. Williamsburg: CRC Press, 2007.
4. Ревин А. 5 мифов о датчиках света и дождя // За рулем. 2019.
5. Горячкин Б.С. Эргономический сертификат автоматизированной системы обработки и отображения информации и управления//Международный научно-исследовательский журнал: Часть 2 Технические науки - Екатеринбург, 2016. № 9 - С. 25-29.
6. Алдонин Г.М. Основы эргономики и дизайна радиоэлектронных средств бытового назначения. Красноярск: СФУ, 2014.
7. Eye tracking driving experiment // NLR – Royal Netherlands Aerospace Centre Reports, URL: <https://youtu.be/RDD-HkmgfmA> (дата обращения: 20.05.2020).
8. Кубарко А.И. Динамика саккадических движений глаз и ее механизмы / А.И. Кубарко, Ю.А. Кубарко // Медицинский журнал. - 2005. - № 3. - С. 77-79.
9. Горячкин Б.С., Бгатцев А. В., Гаранов К. В. Эргономичность придорожных рекламных щитов – безопасность дорожного движения // Электронное периодическое издание «E-Scio.ru» /Технические науки - 2020. - № 4. Режим доступа: : [http://e-scio.ru/wp-content/uploads/2020/04/ Горячкин-Б.-С.-Бгатцев-А.-В.-Гаранов-К.-В.pdf](http://e-scio.ru/wp-content/uploads/2020/04/Горячкин-Б.-С.-Бгатцев-А.-В.-Гаранов-К.-В.pdf) : Загл. с экрана.
10. Сыроева С. HUD: проекция будущего // Компоненты и технологии. 2012. №10.
11. Курс лекций по инженерной психологии / Ландсберг Г.С., М.: Наука, 1985.

12. Психологические особенности человека при управлении автомобильным транспортом: учебное пособие / В.Я. Буйленко, С.В. Жанказиев, В.В. Дементиенко, Ю.А. Короткова, М.В. Гаврилюк., М.: МАДИ, 2017.
13. Eye Tracking – The Next Big Thing for Automatic Driving, Michael Raschke Visual Computing Blog, 2016.
14. Greg Fattig “Come rain or come shine” - Automotive Heads-Up Displays Must Work Everyday. Maxim Integrated Products, Inc, 2014.
15. Richard L. Newman Head-Up Displays: Designing the Way Ahead. New York: Routledge, 1995.