DOI: 10.58168/DPIITT2026_88-93
УДК 656.13.08:004.946

ВЛИЯНИЕ ИНТЕРФЕЙСОВ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ НА КОГНИТИВНУЮ НАГРУЗКУ ВОДИТЕЛЯ

К.А. Закурдаева[1], А.А. Яровенко[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия
Автор, ответственный за переписку: Ксения Алексеевна Закурдаева, 81ksusha.04@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена влиянию автомобильных интерфейсов дополненной реальности на когнитивную нагрузку водителя. Рассмотрены модели распределения внимания, типы AR–интерфейсов и методы оценки умственной нагрузки. Эффект AR–визуализации оказался неоднозначным: он зависит от способа привязки графики, объёма информации и сложности дорожной обстановки. Предложена структура адаптивного AR–интерфейса, который регулирует объём отображаемых данных.

Ключевые слова: дополненная реальность, проекционный дисплей, когнитивная нагрузка, водитель, распределение внимания, безопасность дорожного движения, человеко–машинный интерфейс, адаптивный интерфейс.

INFLUENCE OF AUGMENTED REALITY INTERFACES ON DRIVER COGNITIVE LOAD

K.A. Zakurdaeva[1], A.A. Yarovenko[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
Corresponding author: Ksenia Alekseevna Zakurdaeva, 81ksusha.04@gmail.com

Abstract. The paper studies how automotive augmented reality interfaces affect driver cognitive load. Models of attention allocation, types of AR interfaces and methods for measuring mental workload are reviewed. The effect of AR visualization turns out to be mixed: it depends on how the graphics are registered, how much information is shown and how complex the traffic situation is. A structure of an adaptive AR interface that limits the amount of displayed data is proposed.

Keywords: augmented reality, head–up display, cognitive load, driver, attention allocation, road safety, human–machine interface, adaptive interface.

В современном автомобиле водитель получает всё больше информации: подсказки навигатора, сообщения мультимедийной системы, предупреждения систем помощи водителю (ADAS). Чтобы прочитать их на приборной панели или центральном экране, приходится отводить взгляд от дороги, и на это время обстановка остаётся без визуального контроля. Технология дополненной реальности (AR) предлагает другое решение: виртуальная графика накладывается на реальную дорожную сцену прямо в поле зрения водителя [1].

Чаще всего AR в автомобиле реализуют через проекционный дисплей на ветровом стекле (AR–HUD), который формирует виртуальное изображение в нескольких метрах перед автомобилем. Экспериментальные работы фиксируют неоднозначный эффект такой графики: она может как облегчать, так и затруднять переработку информации во-

© Закурдаева К. А., Яровенко А. А., 2026

дителем [2]. В статье рассматриваются механизмы, через которые AR–интерфейсы влияют на когнитивную нагрузку водителя, и обосновываются принципы их адаптивного проектирования.

Когнитивной нагрузкой называют долю ограниченных ресурсов рабочей памяти и внимания, которую человек тратит на выполнение задачи. В теории когнитивной нагрузки выделяют внутреннюю составляющую, которая зависит от сложности самой задачи, внешнюю, определяемую способом подачи информации, и релевантную, связанную с построением ментальных моделей [3]. У водителя внутреннюю нагрузку задаёт дорожная обстановка. Внешнюю создаёт интерфейс бортовых систем, и на неё разработчик может повлиять.

Модель множественных ресурсов К. Уикенса объясняет, почему одни задачи мешают друг другу сильнее других: интерференция растёт, когда задачи совпадают по модальности восприятия, коду обработки и каналу ответной реакции [4]. Вождение в основном опирается на зрительно–пространственную обработку, поэтому текстовые сообщения и абстрактные пиктограммы на дисплее отнимают у него те же ресурсы. На разные стороны вождения рост нагрузки влияет по–разному. Удержание полосы и другие автоматизированные навыки при умеренной нагрузке почти не страдают, а реакция на неожиданное событие или выбор манёвра, где нужен сознательный контроль, заметно ухудшаются [5]. Водитель может смотреть прямо на дорогу и всё равно не заметить значимый объект из–за так называемой «слепоты невнимания» [6]. Поэтому одного удержания взгляда на дороге, которое даёт AR–HUD, для безопасного восприятия обстановки мало.

Польза AR–интерфейсов объясняется двумя причинами. Водителю реже приходится переводить взгляд, а конформная графика, привязанная к объектам сцены, избавляет его от необходимости мысленно сопоставлять условный знак с реальной полосой или перекрёстком. В исследовании С. Кима и А. Дея пожилые водители с AR–навигацией на ветровом стекле допускали меньше навигационных ошибок и меньше отвлекались, чем с обычным навигатором [7]. AR–маркеры над потенциально опасными объектами направляли внимание водителя и ускоряли обнаружение опасности [8, 9].

Однако наложенная на сцену графика может её загромождать и непроизвольно притягивать внимание. Если подсказки на проекционном дисплее неточны или ненадёжны, оператор начинает на них полагаться, сужает зону поиска и хуже замечает цели, которые система не отметила [10]. Х. Ким и Дж. Габбард указывают, что привычные критерии оценки бортовых дисплеев, построенные на длительности взглядов вне дороги, к AR–HUD без доработки не применимы [11]. В навигационных задачах AR–подсказки помогали водителям в неоднозначных ситуациях, хотя захват внимания виртуальной графикой и здесь нужно отдельно контролировать [12].

Типы автомобильных AR–интерфейсов и их влияние на когнитивную нагрузку водителя сведены в Таблицу 1.

Из Таблицы 1 видно, что результат зависит от того, насколько отображаемая информация соответствует текущей задаче водителя. Привычка полагаться на AR–маркеры к тому же может ослаблять самостоятельный прогноз развития ситуации, то есть высший уровень ситуационной осведомлённости по модели М. Эндсли [13].

Таблица 1 – Влияние типов AR–интерфейсов на когнитивную нагрузку водителя
Table 1 – Influence of AR interface types on driver cognitive load

Тип интерфейса	Привязка графики	Механизм влияния	Влияние на нагрузку
Экранно–фиксированный HUD	Фиксированная зона в поле зрения	Сокращение переводов взгляда; конкуренция за зрительные ресурсы	Снижение при малом объёме данных
Конформная AR–навигация	Полосы движения, перекрёстки	Устранение мысленного сопоставления схемы и реальной сцены	Снижение, особенно на сложных развязках
AR–выделение опасностей	Пешеходы, транспортные средства, препятствия	Целенаправленное привлечение внимания к объекту	Снижение при высокой надёжности; рост при ложных срабатываниях
Информационно–сервисные AR–элементы	Объекты инфраструктуры, точки интереса	Загромождение сцены, непроизвольный захват внимания	Рост, повышение риска отвлечения

Чтобы проектировать такие интерфейсы обоснованно, нагрузку нужно измерять. Основные группы методов её оценки приведены в Таблице 2.

Таблица 2 – Методы оценки когнитивной нагрузки водителя
Table 2 – Methods for assessing driver cognitive load

Группа методов	Показатели	Преимущества	Ограничения
Субъективные	Опросник NASA–TLX [14]	Простота, оценка по шести шкалам	Ретроспективность оценки
Поведенческие	Время реакции и пропуски в задаче DRT [15]	Стандартизованность, высокая чувствительность	Вводит дополнительную задачу
Физиологические	Диаметр зрачка [16], частота сердечных сокращений, электрокожная активность [17]	Непрерывная регистрация без участия водителя	Влияние освещённости и физической нагрузки
Окулографические	Длительность и частота взглядов, распределение фиксаций	Прямая оценка зрительного внимания	Не выявляют отвлечение при взгляде на дорогу
Параметры вождения	Отклонение от центра полосы, корректирующие движения руля	Регистрация штатными системами автомобиля	Низкая чувствительность к умеренной нагрузке

Каждый из этих показателей отражает нагрузку лишь частично, поэтому мы предлагаем интегральный индекс. Он объединяет нормированные отклонения нескольких показателей от индивидуальных фоновых значений:

$$I_{КН} = \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot (x_i - x_{i0}) / x_{i0}, \quad (1)$$

где $I_{КН}$ – интегральный индекс когнитивной нагрузки; n – число регистрируемых показателей; x_i – текущее значение i–го показателя; x_{i0} – значение i–го показателя в фоновом режиме; w_i – весовой коэффициент i–го показателя, $\sum w_i = 1$; все показатели приводятся к виду, при котором рост значения означает рост нагрузки.

Индекс можно использовать как управляющий сигнал адаптивного AR–интерфейса, структура которого показана на Рисунке 1. Данные о дорожной обстановке приходят от сенсоров систем помощи водителю, приёмника ГЛОНАСС/GPS и по каналам V2X. Телематические данные о маршруте позволяют заранее выявить участки повышенной сложности [18].

Блок приоритизации сортирует сообщения по критичности. Предупреждение об угрозе столкновения выводится всегда, а информационные и сервисные сообщения при высокой нагрузке откладываются. Допустимое число некритических AR–элементов предлагаем определять по выражению

$$N_{доп} = N_{max} \cdot (1 - I_{КН} / I_{пред}), \quad (2)$$

где $N_{доп}$ – допустимое число некритических AR–элементов (с округлением вниз); N_{max} – максимальное число элементов для штатного режима; $I_{пред}$ – предельное значение индекса, определяемое экспериментально. При $I_{КН} \geq I_{пред}$ на дисплей выводятся только критические предупреждения.

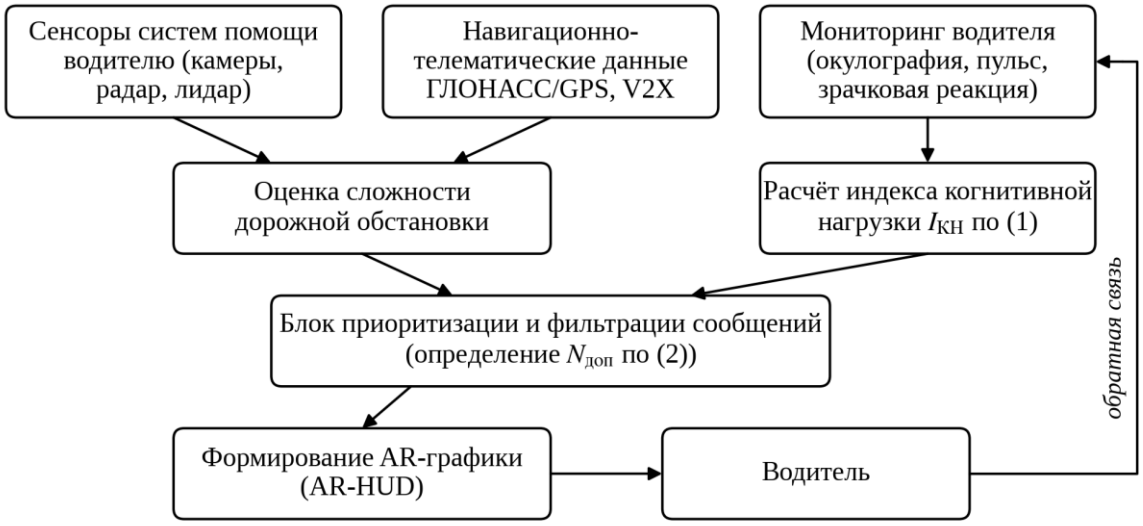

Рисунок 1 – Структурная схема адаптивного AR–интерфейса
Figure 1 – Block diagram of an adaptive AR interface

Итак, дополненная реальность снижает когнитивную нагрузку водителя лишь при определённых условиях: информация должна относиться к вождению, быть пространственно согласована со сценой и ограничена по объёму. Избыточная или неточно совмещённая графика, напротив, усиливает отвлечение. Предложенная структура адаптивного AR–интерфейса регулирует объём данных в зависимости от сложности обстановки и состояния водителя. Вместе с интегральным индексом нагрузки она может стать основой для экспериментального подбора пороговых значений и разработки требований к автомобильным AR–системам с точки зрения безопасности дорожного движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефремов, С. Б. Тип коммуникаций между водителем и автомобилем, основанный на дополненной реальности: новый тренд в построении интеллектуальных транспортных систем / С. Б. Ефремов // Современная зарубежная психология. – 2017. – Т. 6, № 1. – С. 6–14. – DOI 10.17759/jmfp.2017060101.

2. Gabbard, J. L. Behind the glass: driver challenges and opportunities for AR automotive applications / J. L. Gabbard, G. M. Fitch, H. Kim // Proceedings of the IEEE. – 2014. – Vol. 102, No. 2. – P. 124–136. – DOI 10.1109/JPROC.2013.2294642.

3. Sweller, J. Cognitive load during problem solving: effects on learning / J. Sweller // Cognitive Science. – 1988. – Vol. 12, No. 2. – P. 257–285. – DOI 10.1207/s15516709cog1202_4.

4. Wickens, C. D. Multiple resources and performance prediction / C. D. Wickens // Theoretical Issues in Ergonomics Science. – 2002. – Vol. 3, No. 2. – P. 159–177. – DOI 10.1080/14639220210123806.

5. Engström, J. Effects of cognitive load on driving performance: the cognitive control hypothesis / J. Engström, G. Markkula, T. Victor, N. Merat // Human Factors. – 2017. – Vol. 59, No. 5. – P. 734–764. – DOI 10.1177/0018720817690639.

6. Strayer, D. L. Cell–phone–induced driver distraction / D. L. Strayer, F. A. Drews // Current Directions in Psychological Science. – 2007. – Vol. 16, No. 3. – P. 128–131. – DOI 10.1111/j.1467–8721.2007.00489.x.

7. Kim, S. Simulated augmented reality windshield display as a cognitive mapping aid for elder driver navigation / S. Kim, A. K. Dey // Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – New York : ACM, 2009. – P. 133–142. – DOI 10.1145/1518701.1518724.

8. Directing driver attention with augmented reality cues / M. L. Rusch, M. C. Schall, P. Gavin [et al.] // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. – 2013. – Vol. 16. – P. 127–137. – DOI 10.1016/j.trf.2012.08.007.

9. Augmented reality cues and elderly driver hazard perception / M. C. Schall, M. L. Rusch, J. D. Lee [et al.] // Human Factors. – 2013. – Vol. 55, No. 3. – P. 643–658. – DOI 10.1177/0018720812462029.

10. Yeh, M. Head up versus head down: the costs of imprecision, unreliability, and visual clutter on cue effectiveness for display signaling / M. Yeh, J. L. Merlo, C. D. Wickens, D. L. Brandenburg // Human Factors. – 2003. – Vol. 45, No. 3. – P. 390–407. – DOI 10.1518/hfes.45.3.390.27249.

11. Kim, H. Assessing distraction potential of augmented reality head–up displays for vehicle drivers / H. Kim, J. L. Gabbard // Human Factors. – 2022. – Vol. 64, No. 5. – P. 852–865. – DOI 10.1177/0018720819844845.

12. How does navigating with augmented reality information affect drivers' glance behaviour in terms of attention allocation? / K. Bauerfeind, J. Drüke, L. Bendewald, M. Baumann // Frontiers in Virtual Reality. – 2022. – Vol. 3. – Art. 930117. – DOI 10.3389/frvir.2022.930117.

13. Endsley, M. R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems / M. R. Endsley // Human Factors. – 1995. – Vol. 37, No. 1. – P. 32–64. – DOI 10.1518/001872095779049543.

14. Hart, S. G. Development of NASA–TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research / S. G. Hart, L. E. Staveland // Advances in Psychology. – 1988. – Vol. 52. – P. 139–183. – DOI 10.1016/S0166–4115(08)62386–9.

15. ISO 17488:2016. Road vehicles – Transport information and control systems – Detection–response task (DRT) for assessing attentional effects of cognitive load in driving. – Geneva : ISO, 2016. – 76 p.

16. Beatty, J. Task–evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources / J. Beatty // Psychological Bulletin. – 1982. – Vol. 91, No. 2. – P. 276–292. – DOI 10.1037/0033–2909.91.2.276.

17. Mehler, B. Sensitivity of physiological measures for detecting systematic variations in cognitive demand from a working memory task: an on–road study across three age groups / B. Mehler, B. Reimer, J. F. Coughlin // Human Factors. – 2012. – Vol. 54, No. 3. – P. 396–412. – DOI 10.1177/0018720812442086.

18. Посметьев, В. И. Повышение эффективности управления потоком данных спутникового мониторинга транспортных средств / В. И. Посметьев, Д. А. Жайворонок // Инновационные технологии на автомобильном транспорте : материалы Всероссийской научно–технической конференции. – 2022. – № 1 (21). – С. 7–14.

REFERENCES

1. Efremov, S. B. Type of communication between driver and car, based on the augmented reality: new trend in building intelligent transportation systems / S. B. Efremov // Journal of Modern Foreign Psychology. – 2017. – Vol. 6, No. 1. – P. 6–14. – DOI 10.17759/jmfp.2017060101. (In Russ.)

2. Gabbard, J. L. Behind the glass: driver challenges and opportunities for AR automotive applications / J. L. Gabbard, G. M. Fitch, H. Kim // Proceedings of the IEEE. – 2014. – Vol. 102, No. 2. – P. 124–136. – DOI 10.1109/JPROC.2013.2294642.

3. Sweller, J. Cognitive load during problem solving: effects on learning / J. Sweller // Cognitive Science. – 1988. – Vol. 12, No. 2. – P. 257–285. – DOI 10.1207/s15516709cog1202_4.

4. Wickens, C. D. Multiple resources and performance prediction / C. D. Wickens // Theoretical Issues in Ergonomics Science. – 2002. – Vol. 3, No. 2. – P. 159–177. – DOI 10.1080/14639220210123806.

5. Engström, J. Effects of cognitive load on driving performance: the cognitive control hypothesis / J. Engström, G. Markkula, T. Victor, N. Merat // Human Factors. – 2017. – Vol. 59, No. 5. – P. 734–764. – DOI 10.1177/0018720817690639.

6. Strayer, D. L. Cell–phone–induced driver distraction / D. L. Strayer, F. A. Drews // Current Directions in Psychological Science. – 2007. – Vol. 16, No. 3. – P. 128–131. – DOI 10.1111/j.1467–8721.2007.00489.x.

7. Kim, S. Simulated augmented reality windshield display as a cognitive mapping aid for elder driver navigation / S. Kim, A. K. Dey // Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – New York : ACM, 2009. – P. 133–142. – DOI 10.1145/1518701.1518724.

8. Directing driver attention with augmented reality cues / M. L. Rusch, M. C. Schall, P. Gavin [et al.] // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. – 2013. – Vol. 16. – P. 127–137. – DOI 10.1016/j.trf.2012.08.007.

9. Augmented reality cues and elderly driver hazard perception / M. C. Schall, M. L. Rusch, J. D. Lee [et al.] // Human Factors. – 2013. – Vol. 55, No. 3. – P. 643–658. – DOI 10.1177/0018720812462029.

10. Yeh, M. Head up versus head down: the costs of imprecision, unreliability, and visual clutter on cue effectiveness for display signaling / M. Yeh, J. L. Merlo, C. D. Wickens, D. L. Brandenburg // Human Factors. – 2003. – Vol. 45, No. 3. – P. 390–407. – DOI 10.1518/hfes.45.3.390.27249.

11. Kim, H. Assessing distraction potential of augmented reality head–up displays for vehicle drivers / H. Kim, J. L. Gabbard // Human Factors. – 2022. – Vol. 64, No. 5. – P. 852–865. – DOI 10.1177/0018720819844845.

12. How does navigating with augmented reality information affect drivers' glance behaviour in terms of attention allocation? / K. Bauerfeind, J. Drüke, L. Bendewald, M. Baumann // Frontiers in Virtual Reality. – 2022. – Vol. 3. – Art. 930117. – DOI 10.3389/frvir.2022.930117.

13. Endsley, M. R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems / M. R. Endsley // Human Factors. – 1995. – Vol. 37, No. 1. – P. 32–64. – DOI 10.1518/001872095779049543.

14. Hart, S. G. Development of NASA–TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research / S. G. Hart, L. E. Staveland // Advances in Psychology. – 1988. – Vol. 52. – P. 139–183. – DOI 10.1016/S0166–4115(08)62386–9.

15. ISO 17488:2016. Road vehicles – Transport information and control systems – Detection–response task (DRT) for assessing attentional effects of cognitive load in driving. – Geneva : ISO, 2016. – 76 p.

16. Beatty, J. Task–evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources / J. Beatty // Psychological Bulletin. – 1982. – Vol. 91, No. 2. – P. 276–292. – DOI 10.1037/0033–2909.91.2.276.

17. Mehler, B. Sensitivity of physiological measures for detecting systematic variations in cognitive demand from a working memory task: an on–road study across three age groups / B. Mehler, B. Reimer, J. F. Coughlin // Human Factors. – 2012. – Vol. 54, No. 3. – P. 396–412. – DOI 10.1177/0018720812442086.

18. Posmetyev, V. I. Improving the efficiency of managing the flow of data from satellite monitoring of vehicles / V. I. Posmetyev, D. A. Zhayvoronok // Innovative Technologies in Automobile Transport : Proceedings of the All–Russian Scientific and Technical Conference. – 2022. – No. 1 (21). – P. 7–14. (In Russ.)