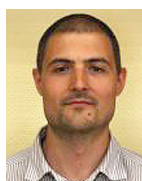


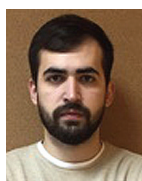
# Определение минимального времени передачи управления при движении в высокоавтоматизированном автомобиле



**С. В. Жанказиев,**  
д. т. н., профессор,  
заведующий кафедрой  
«Организация и безопас-  
ность движения» Москов-  
ского автомобильно-  
дорожного государствен-  
ного технического  
университета (МАДИ)



**А. И. Воробьев,**  
к. т. н., доцент кафедры  
«Организация и безопас-  
ность движения»  
МАДИ



**А. Ю. Забудский,**  
ассистент кафедры  
«Организация  
и безопасность  
движения» МАДИ

В статье раскрывается понятие «человеко-машинный интерфейс» — один из наиболее важных компонентов в системе взаимодействия водитель — транспортное средство. Описана математическая модель, разработанная с целью определения минимального времени, необходимого для безопасной смены управляющего субъекта<sup>1</sup>.

Обеспечение комфортных условий во время поездки наряду с повышением безопасности дорожного движения является весомым аргументом в пользу автоматизированных функций на транспорте. Стоит отметить, что в настоящее время функции автоматизации движения преподносятся потребителям прежде всего как системы обеспечения дополнительного комфорта, а не как системы повышения безопасности. Данный аспект косвенно указывает на то, что водитель по-прежнему несет ответственность за безопасность во время передвижения, в том числе и в автоматизированном режиме движения.

С повышением уровня автоматизации само понятие комфорта во время поездки претерпело качественное изменение и заключается не только в эргономике посадоч-

ного места, органов управления и системах помощи водителю, но и в предоставлении водителю дополнительного, свободного от процесса управления автомобилем времени. Таким образом, у водителя появляется возможность отдохнуть или заняться личными делами, что связано с отвлечением его внимания от контроля дорожной обстановки.

Под отвлечением внимания подразумевается частичная или полная потеря контроля над получением и анализом информации о процессе движения. Подавляющую часть информации (до 95 %) водитель получает визуально, и такие действия, как проверка почты или сообщений на персональном устройстве, могут рассцениваться как серьезный фактор отвлечения и привести к потере значительного потока информации. В связи с этим было решено провести ряд экспериментов, при которых водитель был отвлечен на персональное устройство, далее по сценарию эксперимента имитировалась ситуация, когда водителю было необходимо восстановить контроль над управлением транспортным средством и дорожной обстановкой (рис. 1). Отвлекаясь на персональное устройство, водитель теряет только ту информацию, которую можно получить зрительно, при этом органы слуха, тактильные рецепторы, вестибулярный аппарат продолжают принимать оставшуюся ее часть.

В качестве критического уровня отвлечения следует рассматривать состояние сна, когда практически все органы



Рис. 1. Фото салона в момент проведения эксперимента, когда водитель отвлекается на персональное устройство

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-16162.

чувств не способны принимать информацию о процессе движения. Придерживаясь рамок автоматизированных транспортных средств третьего и четвертого уровней, стоит учитывать, что в любой момент времени в процесс управления может потребоваться вмешательство человека (если возникают ситуации, при которых автоматизированные системы могут работать некорректно). При условии, что человек может быть частично отвлечен, его необходимо оповестить и передать информацию в таком объеме и за такое время, чтобы он был способен безошибочно принять управление на себя и продолжить движение, не оказывая негативного влияния на безопасность дорожного движения.

**Процесс передачи управления**

Смена управляющего субъекта представляет собой биомеханический процесс, в котором задачу информационного обмена решает интерфейс взаимодействия человека и машины. Это набор технических средств, предназначенных для обеспечения непосредственного взаимодействия между оператором и оборудованием, который предоставляет оператору возможность управлять оборудованием и контролировать его функционирование.

Транспортные средства третьего уровня автоматизации позволяют контролировать все критически важные для безопасности функции в различных условиях дорожного движения или окружающей среды [3].

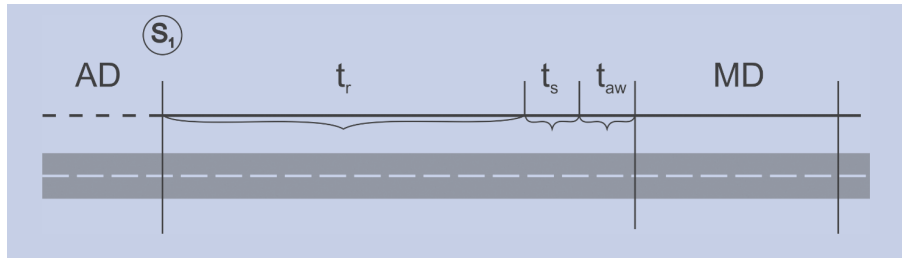


Рис. 2. Временная шкала передачи управления: AD – автоматизированное вождение; MD – ручное вождение,  $t_r$ ,  $t_s$ ,  $t_{aw}$

Кроме того, третий и четвертый уровни автоматизации предусматривают две фазы функционирования:

- автоматизированную, когда процесс управления осуществляет автоматизированная система, а водитель выполняет или может выполнять некоторые второстепенные действия;
- фазу перехода, в которой происходит когнитивный и физический переход человека к принятию управления.

В фазе перехода выделяют следующие этапы:

- восстановление ( $T_{rec}$ ); время, за которое водитель активно собирает информацию о текущей дорожной ситуации, принимает правильное положение, перемещает руки на рулевое колесо и т. д.;
- оценка системой готовности водителя принять управление на себя ( $T_s$ ); на этом этапе система получает обратную связь от пользователя для подтверждения, что информация и рекомендации системы были приняты и учтены;
- оценка водителем готовности принять управление на себя ( $T_{aw}$ ); время, необходи-

мое для осознания готовности водителем принять управление на себя.

На рис. 2 представлена шкала наступления временных интервалов.

Время, затрачиваемое на передачу управления, можно представить в виде математической модели расчета, которая выглядит следующим образом:

$$T_{shift} = T_{rec_i} + T_s + T_{aw}$$

где  $T_{rec_i}$  – время, необходимое для переключения внимания водителя к дорожной обстановке;

$T_s$  – время оценки системой готовности водителя принять управление;

$T_{aw}$  – время, необходимое для осознания водителем готовности принять управление на себя.

В свою очередь время, затрачиваемое на переключения внимания, включает в себя:  $T_{o.и}$  – время обнаружения информации, зависящее от источника и его удаленности;  $T_{обр}$  – время обработки информации после ее обнаружения (функция, зависящая от информационной нагрузки, времени трансляции сообщений различных

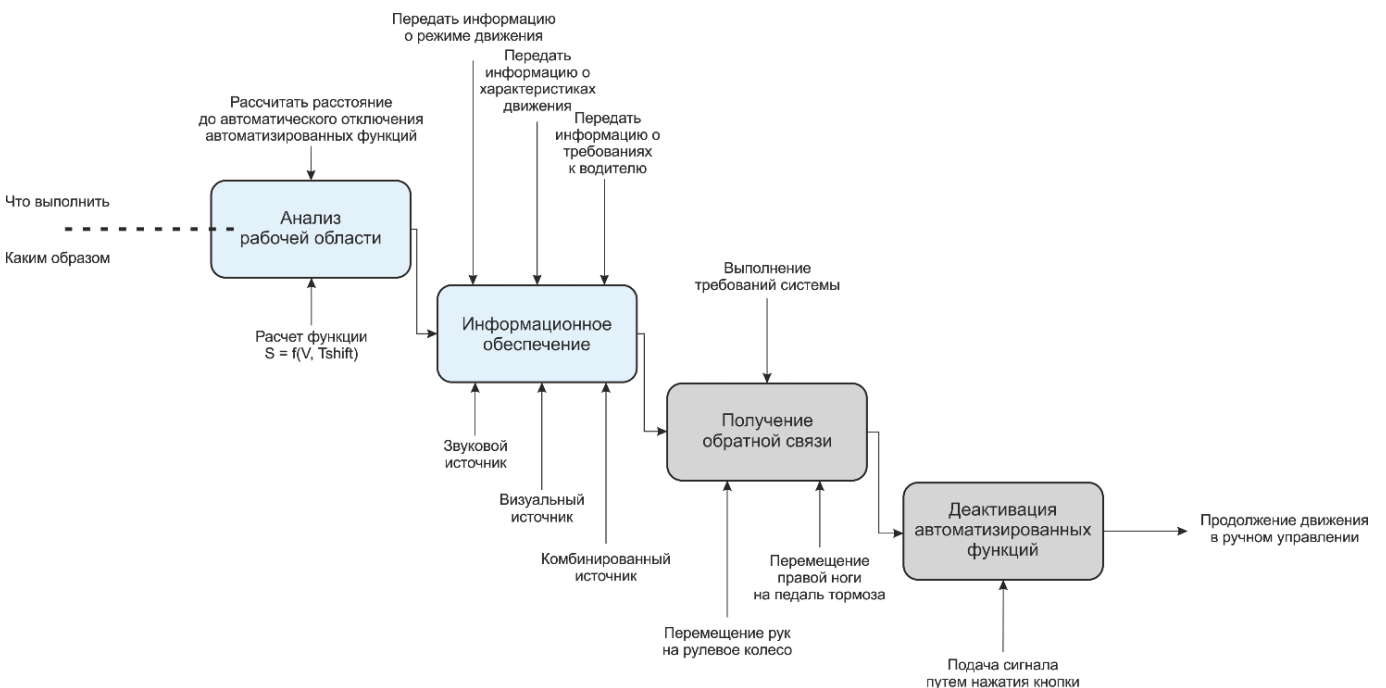


Рис. 3. Алгоритм работы интерфейса человек–машина для автоматизированного автомобиля

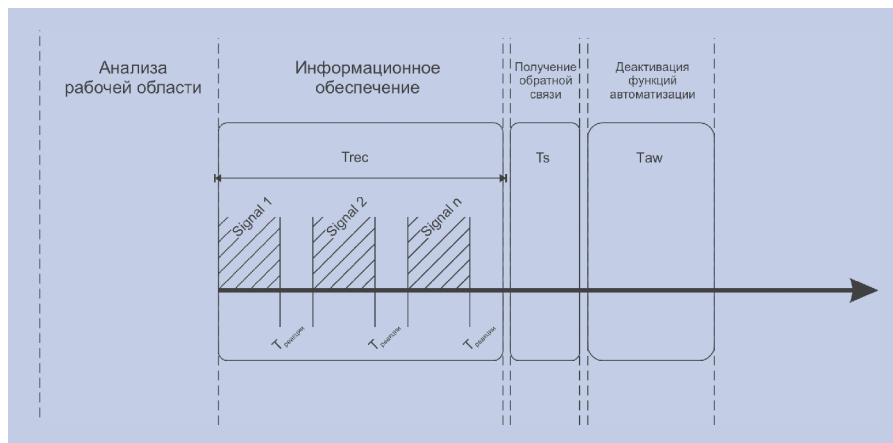


Рис. 4. Временная шкала работы интерфейса

источников, дискретности возможных сценариев и др.);  $T_d$  — время, затрачиваемое на выполнение предписанных действий (перемещение рук на рулевое колесо):

$$Trec_i = T_{o.i} + T_{обр} + T_d.$$

Время действия включает в себя время поиска элемента управления ( $t_n$ ) и исполнения ( $t_{исп}$ ) или действия, при этом чем больше человек работает с интерфейсом системы автоматизации, тем ниже показатель поиска времени.

$$T_d = t_n + t_{исп}.$$

Время оценки системой готовности (взятие водителем под контроль органов управления транспортным средством) — расчетная величина, которая зависит только от времени отклика датчиков и скорости обработки данных процессором:

$$T_s = (f_{TS}(t_{откл}), f_{TS}(Hz)).$$

Время, необходимое для оценки водителем способности принять управление на себя, рассматривается как время реакции на сигнал, несущий информацию о том, что функция деактивации режима автоматизированного управления доступна в данный момент при данных условиях. Следовательно:

$$T_{aw} = t_{o.i.de} + t_{обр.de} + t_{исп.de}.$$

где  $t_{o.i.de}$  — время обнаружения сигнала о возможной деактивации функции;

$t_{обр.de}$  — время обработки сигнала;

$t_{исп.de}$  — время нажатия кнопки отключения.

### Минимальное время передачи управления

Функция надежности в момент передачи управления привязана ко времени, но нельзя говорить о ее стремлении к нулевому значению. Время передачи управления должно быть оптимальным: при его низком значении велика вероят-

ность, что водитель не успеет воспринять всю необходимую информацию, а при высоком — появляется дополнительный риск, связанный с неопределенностью или неготовностью водителя принять управление.

Математическую модель расчета времени передачи управления можно представить:

- статически, т. е. модель показывает время передачи при оптимальных условиях без учета влияния различных внешних факторов и времени отклика интерфейса;
- динамически, т. е. модель показывает время передачи с учетом поправочных коэффициентов и возможных способов информирования водителя.

Базовый алгоритм работы интерфейса основан на модели расчета времени передачи на уровне статических показателей (рис. 3).

Анализ рабочей области заключается в определении точки запуска процесса передачи управления [6]. Он базируется на стратегических данных маршрута следования, в частности о местоположении транспортного средства. Если область работы автоматизированных систем ограничена специально оборудованными участками, то информация о конечной точке участка известна заранее.

Информационное обеспечение дает возможность передавать сообщения:

- о режиме движения;
  - о характеристиках движения (скорость, расположение относительно конечной точки маршрута);
  - о требованиях к водителю.
- Имеются три источника сообщений:
- визуальный (дисплей, сигнальная лампа);
  - звуковой;
  - комбинированный.

Получение обратной связи — регистрация ответных действий водителя,

подтверждающих, что человек понимает необходимость своего включения в процесс.

Деактивация — отключение функций автоматизированного вождения.

Приведем временную шкалу интерфейса (рис. 4).

Для расчета минимального времени передачи управления используются значения, полученные в ранее проведенных экспериментах. Так, время восстановления состоит из количества времени, затраченного на обнаружение источника и времени, требующегося для обработки информации и выполнения необходимых действий. В качестве источника информирования о начале процедуры восстановления принимается комбинация из аудиосигнализатора и информационного дисплея. С помощью аудиосигнализатора можно передать водителю информацию без потери времени, необходимого для обнаружения сигнала. В работе С. В. Ионовой [4] указано, что обработка аудиосигнала водителем занимает в среднем 0,27 с при следующих условиях: скорость движения автомобиля — 50–80 км/ч, продолжительность работы — два часа, а интенсивность движения — 100–300 авт./ч. Время обнаружения информации с дисплея составило  $0,51 \pm 0,13$  с, а с дальнейшей обработкой —  $0,11 \pm 0,21$  с.

Комбинированное сообщение содержит в себе информацию о том, что необходимо выполнить действия по перемещению «своих органов управления» к органам управления автомобилем [7]. Подразумевается, что водитель переносит свои ноги к педали тормоза, а руки располагает на рулевом колесе. Е. М. Лобановым [2] после экспериментов, где оценивалась реакция водителя на стоп-сигнал, установлено, что в оптимальных условиях перемещение ноги на педаль тормоза занимает 0,31 с, на педаль газа — 0,57 с, перемещение рук на рулевое колесо —  $0,5 \pm 0,15$  с.

Следовательно, минимальное время восстановления

$$Trec_i = 0,27 + 0,51 + 1,11 + 0,31 + 0,5 = 2,7 \text{ с.}$$

Время оценки системой готовности водителя принять управление напрямую зависит от времени отклика датчика. Для обычных сенсорных датчиков время отклика составляет 60 мс (0,06 с).

Время для оценки водителем готовности принять управление в статической модели принимается как время реакции на сигналы звукового и светового ин-



дикаторов, передающих информацию о возможности отключения. В работе С. В. Ионов [4] время обработки сигнала светового индикатора составило  $0,49 \pm 0,07$  с.

Таким образом, минимальное время, необходимое для передачи управления водителю, составляет

$$T_{\text{shift}} = 2,7 + 0,06 + 0,49 = 3,25 \text{ с.}$$

Значение 3,25 с — расчетное минимально допустимое. При проектировании интерфейса взаимодействия следует учитывать, что отключение функций автоматизации через 3,25 с после передачи сообщения водителю может повлиять на безопасность поездки.

В заключение подчеркнем, что определение минимального времени, требуемого для передачи управления, решает важную задачу нахождения нижнего значения и устанавливает требования к разработке человеко-машинного интерфейса в автоматизированном автомобиле в части построения политики информирования, обратной связи, режимов работы, информационного обмена.

Результаты экспериментальной проверки модели подтвердят или опровергнут ее достоверность.

Зная фундаментальные показатели времени, появляется возможность исследования различных факторов влияния, что повышает вариативность и гибкость в проектировании интерфейсов. Пользователи улично-дорожной сети — водители разделяются на двенадцать психотипов, интерфейс должен удовлетворять потребностям каждого, повышая общий уровень комфорта, удобства пользования, качества транспортных услуг и безопасности. ■

### Литература

1. Жанказиев С. В. Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов: дис. ... д-ра техн. наук. — М.: МАДИ, 2012. — 451 с.
2. Лобанов Е. М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя. — М.: Транспорт, 1980. — 311 с.

3. Романов А. Н. Автотранспортная психология: учебное пособие для вузов. — М.: Академия, 2002. — 224 с.
4. Butakov V., Ioannou P. Driving autopilot with personalization feature for improved safety and comfort // Proceed. 18th Intern. Conf. Intelligent Transportation Systems. Las Palmas: IEEE, 2015. P. 387–393.
5. Ионов С. В. Разработка методики проектирования режимов бортового информирования водителя в рамках задач интеллектуальных транспортных систем: дис. ... канд. техн. наук. — М.: МАДИ, 2015. — 158 с.
6. Жанказиев С. В., Воробьев А. И., Забудский А. Ю. Проектирование человеко-машинного интерфейса для беспилотного транспортного средства с учетом безопасного времени передачи управления // Вестн. Моск. автомобильно-дорожного гос. техн. ун-та (МАДИ). 2019. С. 36–42
7. Воробьев А. И., Ионов С. В., Шадрин А. В. Обоснование эффективности систем информирования водителей в рамках сценариев определения опасных ситуаций // Там же. 2014. № 3 (38). С. 94–97.

# ТРАНСПОРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

## ПОРТАЛ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

Портал **ROSTRANSPORT.COM** — это информационная площадка для встречи специалистов транспорта.

Пишите,  
и Ваше мнение узнает  
вся транспортная  
Россия.

