

Paula Razin

Instytut Transportu Samochodowego

Iwona Grabarek

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

KONCEPCJA OCENY PRZEJĘCIA KONTROLI STEROWANIA PRZEZ KIEROWCĘ W POJAZDACH Z WARUNKOWĄ AUTONOMIZACJĄ

Rękopis dostarczono: kwiecień 2018

Streszczenie: W artykule zaprezentowano koncepcję oceny przejścia kontroli sterowania przez kierowcę w pojazdach z warunkową autonomizacją, w ramach której istotną rolę odgrywają sygnały informujące kierowcę o konieczności przejścia kontroli nad pojazdem, np. w przypadku autonomicznej jazdy po autostradzie (tzw. *highway chauffeur*). Przedstawione w artykule wstępne wyniki badań dotyczą efektywności sygnałów o różnej modalności. Badania sygnałów zrealizowano na stanowisku multisensorycznym, stanowiącym wyposażenie symulatora samochodu osobowego ASI200-6. Przeprowadzony eksperyment pozwolił zweryfikować efektywność działania stanowiska badawczego i jego poszczególnych modułów oraz odpowiedzieć na ważne pytanie dotyczące efektywnego sposobu komunikacji z kierowcą przez interfejsy HMI, minimalizującego czas przejścia kontroli nad pojazdem. Czas ten był jednym z głównych analizowanych parametrów. Wyniki eksperymentu wskazują, że skuteczność przekazywania informacji zależy od jej formy. Badani uzyskiwali najlepsze wyniki, gdy informowani byli poprzez interfejs wizualny i dźwiękowy ($t = 3,84$ s). Otrzymane wyniki posłużą do sformułowania rekomendacji dla przemysłu motoryzacyjnego. Kolejnym etapem badań będzie analiza manewrów wykonanych po przejściu kontroli oraz ocena ich poprawności.

Słowa kluczowe: pojazdy autonomiczne, autonomizacja transportu, Connected Automated Driving, przejście kontroli

1. WPROWADZENIE

Intensywny rozwój przemysłu motoryzacyjnego skutkuje wprowadzaniem na rynek pojazdów w coraz większym stopniu zautomatyzowanych. Nowa technologia jest postrzegana jako czynnik kształtujący przyszłą mobilność i jakość życia. Samochody z warunkową automatyzacją są w stanie przejąć od kierowcy pełną kontrolę nad sterowaniem w określonych warunkach. Kierowca nadal jednak musi być przygotowany na przejęcie czynności sterowniczych w przypadku zgłoszenia tego postulatu przez system

komputerowy samochodu. Analiza tych zagadnień jest tematem badań prowadzonych w najważniejszych ośrodkach naukowych na świecie [2,4,5,6,7,14], w tym również w Instytucie Transportu Samochodowego.

2. PROBLEM BADAWCZY

Poziom automatyzacji jest nierozzerwalnie związany z problemem delegowania kontroli nad pojazdem i jej zakresu w trakcie jazdy [12]. Różny stopień zaangażowania kierowcy w sterowanie pojazdem wymaga zachowania odpowiedniej równowagi między kierowcą i samochodem oraz dynamicznymi zmianami wynikającymi z poziomu przekazanej systemowi kontroli. Wraz ze wzrostem stopnia automatyzacji i przekazywania kontroli systemowi istotnie zmienia się rola kierowcy. Oddając funkcje sterownicze staje się on ogniwem nadzorującym poprzez monitorowanie inteligentnego systemu. Kierowca z pozycji decydenta, poprzez współudział w kierowaniu, przechodzi na pozycję pasażera, jednak z możliwością przejęcia funkcji sterowniczych w każdej chwili. W celu zwiększenia efektywności współpracy między kierowcą a systemem bardzo ważne jest takie zaprojektowanie systemu, aby kierowca rozumiał bieżące i planowane jego działanie i wiedział czego system wykonać nie może. Takie podejście buduje zaufanie między obydwoma elementami układu kierowca-pojazd i ułatwia adaptację użytkownika do nowych rozwiązań [5]. Zgodnie z klasyfikacją NTHSA (*National Highway Traffic Safety Administration*) w pojazdach wyszczególniono 5 poziomów automatyzacji [10], przy czym poziom L3 (tzw. warunkowej automatyzacji) charakteryzuje się możliwością czasowego przejęcia sterowania przez samochód, nie mniej w każdej chwili z odpowiednim wyprzedzeniem czasowym, może dojść do ponownego przejęcia przez kierowcę czynności sterowniczych, co wymaga z jego strony wysokiej świadomości sytuacyjnej (ang. *situation awareness*) w każdym momencie jazdy. Można ją uzyskać prawidłowo projektując interfejs kierowcy, dzięki któremu zapewniony jest dopływ niezbędnej informacji jak również możliwość efektywnego wykonania czynności sterowniczych [1,3]. Zagadnienie odpowiedniego doboru interfejsu, zapewniającego szybki i efektywny odbiór sygnału informującego o konieczności przejęcia kontroli przez kierowcę jest tematem badań prowadzonych w Instytucie Transportu Samochodowego Przedstawione w artykule wstępne wyniki badań dotyczą oceny efektywności sygnałów o różnej modalności.

3. METODYKA BADAŃ

Poprawność przebiegu procesu przejęcia czynności sterowniczych w dużej mierze zależy od poziomu obciążenia poznawczego operatora. Poziom ten zależy od wielu czynników, m.in. od sposobu przekazywania informacji przez system komputerowy samochodu, czy też dodatkowych czynności wykonywanych przez operatora w tym samym czasie. Opracowana

koncepcja metody oceny przejścia kontroli sterowania przez kierowcę w pojazdach z warunkową autonomizacją wymagała przeprowadzenia badań symulatorowych, podczas których poprawność przejścia kontroli oceniana była na podstawie następujących parametrów: czasu reakcji kierowcy na sygnały wysyłane przez samochód, informujące o konieczności przejścia kontroli, czasu niezbędnego na ustabilizowanie parametrów jazdy po jej przejściu, jak również poprawności wykonywanych manewrów. Badania obejmą również wpływ rozproszenia uwagi kierowcy na czas przejścia kontroli nad pojazdem. W badaniach wykorzystano scenariusze, obejmujące konieczność przejścia przez kierujących kontroli w wybranych sytuacjach drogowych. O aktualnej sytuacji na drodze, ewentualnych zagrożeniach i konieczności przejścia kontroli kierowca był informowany przy pomocy sygnałów ostrzegawczych odbieranych kanałem słuchowym, wzrokowym lub dotykowym (wibracje).

3.1. STANOWISKO BADAWCZE

3.1.1. Symulator samochodu osobowego

Eksperyment przeprowadzono z wykorzystaniem symulatora samochodu osobowego AS1200-6 (rys. 1). Wyposażony jest on w pełni funkcjonalną kabinę samochodu Opel Astra IV. Symulator posiada 6 stopni swobody ruchu, zapewnionych dzięki usytuowaniu kabiny pojazdu na platformie Stewarta firmy Moog 6DOF2000E [8]. Platforma pozwala na wykonywanie ruchów kabiny symulujących jazdę w rzeczywistych warunkach.



Rys. 1. Symulator samochodu osobowego AS1200-6 [9]

System wizualizacji symulatora składa się z ekranu cylindrycznego pokrywającego ok. 200° pola widzenia kierowcy w płaszczyźnie poziomej oraz około 30° pola widzenia w płaszczyźnie pionowej. Obraz jest wyświetlany przy użyciu czterech projektorów na ekranie usytuowanym centralnie względem punktu ocznego kierowcy. Lusterka wsteczne pojazdu są symulowane przy użyciu ekranów LCD, o wielkości zbliżonej do prawdziwych

zwierciadeł pojazdu. W kabinie znajdują się dodatkowo mikrofon i kamera umożliwiające monitorowanie zachowania kierowcy i komunikację głosową.

Simulator obsługiwany jest przy użyciu dedykowanego programu symulacji AutoSim SimWorld [9]. Wykorzystanie wysokiej klasy symulatora jazdy w badaniach kierowców pozwala na osiągnięcie cech eksperymentu trudno dostępnych lub wręcz niemożliwych do osiągnięcia w rzeczywistych warunkach drogowych, nawet z wykorzystaniem zamkniętych torów jazdy. Główną zaletą wykorzystania symulatorów jest możliwość osiągnięcia pełnej powtarzalności warunków eksperymentu. Odpowiednio zapisany program scenariusza badań pozwolił na symulację trasy jazdy dokładnie odzwierciedlającej sformułowane założenia. Wykorzystanie symulatora zapewniało również powtarzalność sytuacji drogowych, w jakiej znajdował się kierowca.

3.1.2. Stanowisko multisensoryczne

W pojazdach zautomatyzowanych kierowca jest informowany o sytuacji na drodze oraz o konieczności przejęcia kontroli poprzez dedykowane interfejsy człowiek-maszyna. Emitowanie sygnałów ostrzegawczych może odbywać się poprzez kanał słuchowy, wzrok lub wibracje. Komunikaty mogą być pokazywane na wyświetlaczach zamieszczonych w panelu sterowania bądź wyemitowane jako informacja przy podstawowych wskaźnikach takich jak prędkościomierz czy obrotomierz. Za najlepszy sposób informacji uznaje się ten, który powoduje szybką i właściwą reakcję kierowcy na sytuację w sposób intuicyjny, bez konieczności włączania w to złożonego procesu przetwarzania informacji.

Zgodnie z założeniami eksperymentu multisensoryczne stanowisko do oceny interfejsów człowiek-maszyna zostało wyposażone w szeregu interfejsów, tzn. ekranów dotykowych, generatorów drgań w siedzisku kierowcy oraz dedykowanego systemu nagłośnienia. Celem badań była ocena efektywności oddziaływania, generowanych przez samochód, sygnałów o różnej modalności sensorycznej na kierowcę. Kryterium efektywności był czas odbioru informacji, skutkujący podjęciem działań sterowniczych.

Stanowisko multisensoryczne składało się z modułów takich jak:

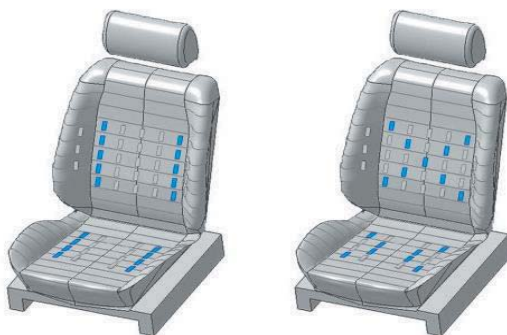
- moduł wizualny - generujący informację wizualną dla kierowcy, w celu analizy interakcji kierowcy z interfejsem HMI (ang. *Human Machine Interface*). Moduł ten to przede wszystkim zintegrowana z symulatorem jazdy AS1200-6 nowa tablica rozdzielcza (rys. 2), która oprócz standardowych danych o stanie pojazdu pozwala na pokazywanie komunikatów o stanie systemu autonomii pojazdu;
- moduł audio - pozwalający generować informację dźwiękową dla uczestników eksperymentu w sposób zsynchronizowany ze zdarzeniami w scenariuszu;
- moduł haptyczny - pozwalający generować bodźce wibracyjne w fotelu kierowcy w sposób zsynchronizowany ze zdarzeniami w scenariuszu;
- konsola ADS - zarządzająca systemem automatyzacji pojazdu, pozwalająca na włączenie i wyłączenie systemu, dostosowanie ustawień (np. prędkości) i wyświetlanie stanu systemu;
- integracyjny - obejmujący oprogramowanie do transmisji danych synchronicznych stanu pojazdu oraz oprogramowanie integrujące elementy systemu, a także do wymiany danych asynchronicznych – zdarzeń i sposobów ich prezentacji.

Na dedykowanym wyświetlaczu w miejscu tablicy rozdzielczej w symulatorze jazdy (rys. 2) prezentowane były m. in. kontrolki stanu pojazdu, animowane elementy prędkościomierza i obrotomierza, zegar, temperatura zewnętrzna. Zaprojektowano także elementy pokazywane asynchronicznie – nakładki zwracające uwagę na konieczność przejścia lub oddania kontroli, wskazania stanu systemu autonomii i ustawień tempomatu.



Rys. 2. Moduł wizualny stanowiska HMI [11]

Fotel wibracyjny został zaprojektowany tak, aby umożliwiać realizację sygnalizacji wibracyjnej, przekazującej drgania do ciała kierowcy (rys. 3). Za wzór posłużyło rozwiązanie zastosowane przez naukowców z Uniwersytetu w Stuttgarcie [13]. Do celów eksperymentu zamontowano na siedzisku i oparciu fotela 47 silników wibracyjnych o średnicy 10 mm i grubości 3,4 mm zgodnie z ustalonym wzorem.



Rys. 3. Projekt fotela wykorzystany w badaniach HMI [13]

Do realizacji sygnalizacji dźwiękowej wykorzystano wbudowany system, umożliwiający bezpośrednie wydawanie poleceń zgodne ze scenariuszem. Do badań wybrano zestaw dźwięków informacyjnych dotyczących przejścia kontroli, a ich słyszalność zweryfikowano w różnych warunkach drogowych, przy zmiennym natężeniu ruchu, prędkości pojazdu i prędkości obrotowej silnika.

3.2. GRUPA BADAWCZA

Badanie przeprowadzono na grupie 30 dorosłych osób, którzy stanowili reprezentatywną próbę populacji kierowców kategorii B. Warunkiem przystąpienia do badania było posiadanie prawa jazdy od co najmniej dwóch lat i aktywne poruszanie się samochodem osobowym na co dzień. Kierowcy reprezentowali trzy równoliczne grupy sklasyfikowane według wieku. Pierwszą byli kierowcy młodzi (20-25 lat), drugą byli kierowcy w średnim wieku (30-40), a trzecią byli kierowcy starsi (55+). Średni wiek kierowców wyniósł 38 lat ($SD = 14,04$), najmłodszy kierowca miał 20 lat, a najstarszy 64.

3.3. PRZEBIEG EKSPERYMENTU

Właściwe badanie na symulatorze poprzedzone było przygotowaniem scenariusza adaptacyjnego, podczas którego uczestnik badania zapoznawał się z mechanizmem sterowania. Wiedza ta umożliwiła kierowcy, w trakcie badań symulatorowych, prowadzenie pojazdu w sposób najbardziej zbliżony do warunków rzeczywistych. Dodatkowo w ramach scenariusza osoba zapoznawała się z systemem obsługi transferu kontroli nad pojazdem zainicjowanym przez system automatyzujący lub przez użytkownika.



Rys. 4. Jedna z sytuacji wymagających przejęcia kontroli nad pojazdem (widok z edytora środowiska symulacyjnego) [11]

Scenariusz realizowano nieprzerwanie przez około kilkanaście minut. Eksperyment przerywano, jeżeli osoba badana zgłosiła w trakcie badania pojawienie się uciążliwych symptomów choroby symulatorowej. Po przejechaniu scenariusza adaptacyjnego kierowcy wypełniali kwestionariusz Symptomów Choroby Symulatorowej – SSQ [9]. Osoby, u których wystąpiły uciążliwe objawy choroby symulatorowej wykluczono z dalszego badania, a ich wyniki nie były analizowane. Objawy te dotyczyły tylko jednej osoby badanej.

Na trasie zaplanowano trzy sytuacje niebezpieczne wymagające przekazania kierowcy kontroli przez system zautomatyzowany, tzw. TOR (ang. *Take Over Request*):

- dwa wypadki drogowe,
- prace drogowe, które obejmowały przebudowę drogi oraz objazd wyznaczoną trasą alternatywną [11] (rys. 4).

Osoby badane nie były informowane o przebiegu scenariusza badawczego. Pozwoliło to zapewnić efekt zaskoczenia. Każda z wymienionych sytuacji była poprzedzona wystąpieniem komunikatu w postaci jednego z trzech zaprojektowanych interfejsów HMI:

- komunikat wizualny (informacja wyświetlana jako piktogram na ekranie zegarów);
- komunikat wizualny i dźwiękowy (ta sama informacja wizualna wraz z komunikatem dźwiękowym);
- komunikat wizualny, dźwiękowy i haptyczny (informacja wzbogacana dodatkowo o pełne, pulsacyjne wibracje fotela).

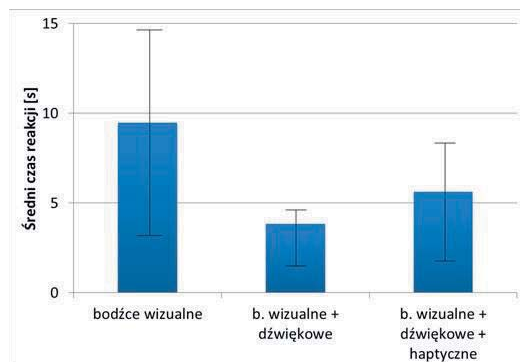
4. WYNIKI BADAŃ

Weryfikacji działania stanowiska multisensorycznego dokonano w oparciu o przeprowadzone badania w zakresie przekazania/przejścia kontroli w pojeździe wyposażonym w system automatyzujący jazdę po autostradzie. Podstawową badaną zmienną zależną był czas liczony od momentu pojawienia się komunikatu w jednej z trzech form (wizualnie, wizualnie i dźwiękowo lub wizualnie, dźwiękowo i haptycznie) do momentu wykonania przez kierowcę znaczącej interwencji w postaci wciśnięcia pedału przyspieszenia, hamulca lub wykonania skrętu kierownicą.

Z punktu widzenia analizy sytuacji transferu kontroli krytycznym elementem jest znacznik czasowy *RtI* (ang. *Request to Intervene*) wygenerowany w momencie pojawienia się informacji o konieczności przejścia kontroli. Znacznik ten jest przyjmowany jako początek procesu przejmowania kontroli nad pojazdem, od którego producenci pojazdów określają czas konieczny na wykonanie tego zadania.

Analizie poddano czas przejścia kontroli wyrażony w sekundach. Średni czas reakcji obliczony dla wszystkich trzech sytuacji drogowych wyniósł odpowiednio: 9,46 s ($SD = 5,47$) dla bodźców wizualnych, 5,64 s ($SD = 3,18$) dla kombinacji bodźców wizualnych, dźwiękowych i haptycznych oraz 3,84 s ($SD = 1,40$) dla bodźców wizualnych i dźwiękowych (rys. 5).

Otrzymane wyniki z eksperymentu wykazały różnicowanie efektywności przekazywania informacji za pomocą bodźców o różnej modalności. Najkrótszy czas reakcji kierowcy uzyskano dla bodźców wizualnych połączonych z dźwiękowymi. Dodanie bodźca haptycznego w postaci wibracji fotela kierowcy wydłużyło czas reakcji średnio o 1,8 sekundy w stosunku do komunikatu wizualno-dźwiękowego. Najgorszy wynik uzyskano dla bodźców wizualnych.



Rys. 5. Wyniki TOR – średni czas reakcji.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule przedstawiono wstępne wyniki badań dotyczące oceny efektywności sygnałów o różnej modalności. Sygnały te przede wszystkim służą do informowania kierowcy o konieczności przejścia kontroli w pojazdach zautomatyzowanych np. w przypadku autonomicznej jazdy po autostradzie (tzw. *highway chauffeur*) na skutek pojawienia się nieoczekiwanych utrudnień na drodze.

Analizie poddano czas niezbędny do przejścia kontroli nad pojazdem, który był mierzony od momentu pojawienia się komunikatu w jednej z trzech form (wizualnej; dźwiękowej i wizualnej; wizualnej, dźwiękowej i haptycznej) do momentu wykonania przez kierowcę czynności sterowniczej.

Wyniki eksperymentu wskazują, że przekazywanie informacji przy użyciu bodźców wizualnych powodowało najdłuższy czas reakcji ($t = 9,46$ s). Użycie wszystkich trzech interfejsów dostępnych w pojazdach również nie było najskuteczniejszym sposobem, ponieważ średni czas reakcji wyniósł 5,64 s. Badani uzyskiwali najlepsze wyniki, gdy informowani byli jednocześnie poprzez interfejs wizualny i dźwiękowy ($t = 3,84$ s).

Kolejnym etapem prac będzie przeanalizowanie manewrów wykonywanych po przejściu kontroli przez kierowcę oraz ocena poprawności ich wykonania. Analizie poddane zostaną parametry związane z ruchem pojazdu, m.in. zmiana prędkości pojazdu, ruchy kołem kierownicy, położenie i utrzymanie pojazdu w pasie ruchu. Otrzymane wyniki posłużą m.in. do sformułowania rekomendacji dla przemysłu motoryzacyjnego.

Bibliografia

1. Banks V. A., Stanton N. A., Keep the driver in control: Automating automobiles of the future. *Applied Ergonomics* 53, 2016, pp. 389-395.
2. Blanco M., Atwood J., Vasquez H. M., Trimble T. E., Fitchett V. L., Radlbeck J., Morgan J. F., Human factors evaluation of level 2 and level 3 automated driving concepts. Report No. DOT HS 812 182. DC: National Highway Traffic Safety Administration. Washington, 2015.

3. Choromański W., Grabarek I., Spirzewska A.: Systemy human machine interface (HMI) dedykowane samochodom poziomów L2/L3. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej - Transport*, Oficyna Wydawnicza PW, nr 115, 2017, s. 35-45.
4. Dingus T. A., Klauer S. G., Neale V. L., Petersen A., Lee S. E., Sudweeks J., Perez M. A., Hankey J., Ramsey D., Gupta S., Bucher C., Doerzaph Z. R., Jermeland J., Knippling R. R., The 100-Car Naturalistic Driving Study. Phase II – Results of the 100-Car Field. Experiment., Technical Report, U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, 2006.
5. Gietelink O., Ploeg J., De Schutter B., Verhaegen M., Development of advanced driver assistance systems with vehicle hardware-in-the-loop simulations. *Vehicle System Dynamics*, No. 44 (7), 2006, pp. 569-590.
6. Haveit: Highly automated vehicles for intelligent transport; 7th Framework programme ICT-2007.6.1, ICT for intelligent vehicles and mobility services. Grant agreement no.: 212154 - Final report 2007.
7. OECD/ITF Road Safety Annual Report 2016. OECD Publishing Paris. DOI: 10.1787/23124571, <https://www.itf-oecd.org/road-safety-annual-report-2016>.
8. Kruszewski M., Razin P., Niezgoda M., Nader M., Model oceny dodatkowego obciążenia poznawczego u kierowcy na podstawie badań z wykorzystaniem symulatora jazdy. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej - Transport*, nr 118, 2017, s. 155-166.
9. Kruszewski M., Razin P., Niezgoda M., Smoczyńska E., Kamiński T., Analiza efektów oddziaływania symulatora na powstawanie choroby symulatorowej w badaniach kierowców. *Systemy Logistyczne Wojsk*, nr 44, 2016, s. 188-201.
10. Parasuraman R., Riley V., Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors*, No. 39 (2), 1997, pp. 230-253.
11. Razin P., Matysiak A., Kruszewski M., Niezgoda M., The impact of the interfaces of the driving automation system on a driver with regard to road traffic safety. *MATEC Web of Conferences*, 2018.
12. Richards D., Stedmon A., To delegate or not delegate: a review of control frameworks for autonomous car. *Applied Ergonomics* No. 53, 2016, pp. 383-386.
13. Schwalk M., Kalogerakis N., Maier T., Driver support by a vibrotactile seat matrix - Recognition adequacy and workload of tactile patterns in take-over scenarios during automated driving. *Proc. 6th Int. Conf. AHFE*, 2015, pp. 1427-1434.
14. Stanton N. A., Salmon P. M., Human error taxonomies applied to driving: A generic driver error taxonomy and its implications for intelligent transport systems. *Safety Science*, No 47, 2009, pp. 227-237.

THE CONCEPT OF DRIVER TAKEOVER ASSESSMENT IN THE VEHICLES WITH CONDITIONAL AUTOMATION

Summary: The article presents the concept of driver takeover assessment in the vehicles with conditional automation.

The signals are used to inform the driver about the necessity to take over the control in automated vehicles when considering automated driving scenarios (e.g. highway chauffeur). The article presents preliminary results of the research concerning the efficiency of different modality signals. The research was carried out on multisensoric stand in driving simulator AS1200-6. Such research on one hand enabled the verification of the efficiency of multisensoric stand's operation. On the other hand, it helped to answer a significant research question regarding the efficient way of communicating with a driver through the use of HMI interface, in order to minimize the time of taking over the control of the vehicle. Time necessary for taking over the control was one of the main analyzed parameters. Results of the test indicate that the effectiveness of information transfer depends on its form. The examinees achieved the best results when informed through visual and auditory interfaces ($t = 3,84$ s). Obtained results are going to serve to formulate the recommendations for automotive. The next research stage will be to analyze the maneuvers taken after taking over the control and the assessment of their correctness.

Keywords: autonomous vehicles, road transport automation, Connected Automated Driving, takeover