

# Model matematyczny opisujący działania kierowcy w różnych sytuacjach drogowych

## Mathematical model describing the operation of the car driver in different road situations

PAWEŁ BUDZISZEWSKI  
KRZYSZTOF KĘDZIOR \*

Materiały z XX SKWPIE, Jurata 2016 r.  
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.110

W artykule przedstawiono wyniki prac, których celem było opracowanie modelu matematycznego opisującego działanie człowieka – operatora w układzie kierowca–samochód. Model dotyczy dwóch grup kierowców: amatorów i kierowców zawodowych. Opisuje sytuację podążania za poprzedzającym pojazdem, a opisujące go parametry odniesione zostały do symulowanej sytuacji wypadkowej.

**SŁOWA KLUCZOWE:** model reakcji kierowcy, kierowcy zawodowi, symulator samochodu

*The article presents the results of study aimed at development of mathematical model describing human – operator actions in the driver – car control system. The model was prepared for two groups of drivers: amateur and professional ones. It describes following of the preceding vehicle scenario referred to the simulated accident situations.*  
**KEYWORDS:** driver reaction model, professional drivers, car simulator

W literaturze naukowej można znaleźć wiele prac badawczych mających na celu opracowanie modeli matematycznych opisujących zachowanie człowieka w układzie człowiek–samochód [1÷4].

W artykule przedstawiono wyniki prac, których celem było opracowanie modelu matematycznego opisującego działanie człowieka – operatora w układzie kierowca–samochód. Model ten dotyczy dwóch grup kierowców: amatorów i kierowców zawodowych. Dotyczy sytuacji podążania za poprzedzającym pojazdem, a opisujące go parametry odniesione zostały do parametrów opisujących symulowaną sytuację wypadkową.

Model opracowany został na podstawie wyników badań z wykorzystaniem symulatora jazdy samochodem. Szerszy opis badań przedstawiony został w artykule [5], a pełne zestawienie wyników zawarte zostało w rozprawie doktorskiej [6]. W niniejszej publikacji przedstawiono jedynie aspekty istotne z punktu widzenia modelowania układu kierowca–samochód. Głównym założeniem badań było zarejestrowanie zachowania kierowcy samochodu w sytuacji mogącej skutkować wypadkiem samochodowym oraz w sytuacji podążania za innym pojazdem. Badania prowadzone były z udziałem dwóch grup kierowców: zawodowych i amatorów. Do badań wykorzystano symulator jazdy samochodem osobowym AS 1200-6 znajdujący się w Pracowni Symulatorów Jazdy w Instytucie Transportu Samochodowego (ITS) w Warszawie [7].

### Sytuacja wypadkowa

W trakcie przejazdu badawczego zaaranżowano tzw. sytuację wypadkową. Jej założenia opracowane zostały na bazie doświadczeń zebranych podczas poprzednich badań [8]. Bezpośrednio przed jadącym samochodem osoby badanej na jezdnię wybiegał z prawej strony pieszy. W przypadku braku lub spóźnionej reakcji kierowcy dochodziło do potrącenia pieszego. Moment wybiegnięcia zależał od prędkości samochodu osoby badanej i dobrany został tak, żeby w razie braku reakcji kolizja

następowała po 2,5 s od chwili, w której pieszy zaczął być widoczny (niezależnie od prędkości samochodu osoby badanej). Wartość ta dobrana została eksperymentalnie podczas badań pilotażowych.

### Podążanie za uciążliwym pojazdem

Na potrzeby tworzenia modeli opisujących działanie układu kierowca–samochód zaaranżowano sytuację pn. podążanie za uciążliwym pojazdem. Kierowca jechał odcinkiem drogi jednojezdniowej, dwukierunkowej, z dwoma pasami ruchu, długości ok. 1 km, składającym się z delikatnych łuków i odcinków prostych. Bezpośrednio przed samochodem osoby badanej jechał inny pojazd. Jego prędkość (zależna od dystansu pomiędzy pojazdami) była tak dobrana, żeby został uznany za „uciążliwy”. Dodatkowo cyklicznie zwalniał i przyspieszał.

### Osoby badane

W badaniach udział wzięły dwie grupy kierowców: kierowcy zawodowi (N = 60) i amatorzy (N = 59), płci męskiej w wieku 30÷40 lat. Uczestnicy badań deklarowali dwuletnie aktywne doświadczenie, brak sprawstwa wypadku drogowego oraz dobry stan zdrowia.

### Model człowieka – operatora

W celu opisanego działania kierowcy w odpowiedzi na zmienne warunki otoczenia w sytuacji pn. podążanie za uciążliwym pojazdem opracowano model opisujący układ kierowca–samochód. Ponieważ parametry opisujące samochód dla wszystkich kierowców były takie same, więc odpowiedź modelu determinowana była przez cechy poszczególnych kierowców. Układ przybliżony został modelem opóźniającym, opisanym równaniem:

$$y(t) = K \cdot u(t-Td)$$

gdzie:  $y(t)$  jest odpowiedzią układu,  $u(t)$  – wymuszeniem,  $K$  – współczynnikiem wzmocnienia,  $Td$  – czasem opóźnienia.

W sytuacji pn. podążanie za uciążliwym pojazdem proponowano modele opisujące dwa warianty sposobu reakcji kierowcy:

1. wariant pierwszy, w którym kierowca stara się utrzymać optymalną odległość od poprzedzającego pojazdu,
2. wariant drugi, w którym kierowca stara się utrzymać prędkość taką jak poprzedzający pojazd.

W pierwszym wariantcie przyjęto, że istnieje optymalna odległość, którą przy danej prędkości powinien utrzymywać kierowca. W zaleceniach dla kierowców w wielu krajach (np. [9]) przyjmuje się, że optymalna odległość powinna zostać wyznaczona na podstawie tzw. reguły dwóch sekund. Mówi ona, że minimalna bezpieczna odległość od poprzedzającego pojazdu to taka, którą samochód przejeżdża w czasie 2 s.

\* Mgr inż. Paweł Budziszewski (pabud@ciop.pl); prof. dr hab. inż. Krzysztof Kędzior – Centralny Instytut Ochrony Pracy, Państwowy Instytut Badawczy

W modelu przyjęto, że zadaniem kierowcy jest utrzymanie odległości wynikającej z reguły dwóch sekund. Jest to parametr wejściowy (wymuszenie) do modelu. Parametrem wyjściowym (odpowiedzią układu kierowca–samochód) jest faktyczna odległość utrzymywana przez kierowcę.

W drugim wariancie przyjęto, że zadaniem kierowcy jest utrzymanie prędkości takiej samej jak pojazdu poprzedzającego. Przyjęto, że prędkość pojazdu poprzedzającego jest parametrem wejściowym (wymuszeniem), prędkość pojazdu osoby badanej jest parametrem wyjściowym (odpowiedzią układu kierowca–samochód).

Podczas podążania za uciążliwym pojazdem jego prędkość zmieniała się cyklicznie – rosła i zmniejszała się. W przypadku obu wariantów zaobserwować można wyraźne cykle parametrów wejściowych i wyjściowych. W celu opisu modeli dla każdej z osób wybrano pierwszy fragment przebiegów zmian parametrów, w którym dało się zaobserwować trzy pełne ustabilizowane cykle sygnału wymuszającego

W celu opisu obu wariantów zdefiniowano parametry modelu opisanego wspomnianym równaniem. Opóźnienie  $T_d$  zostało zdefiniowane jako czas pomiędzy maksimum oscylacji sygnału wymuszającego, a odpowiadającym maksimum odpowiedzi układu. Jest to więc parametr mówiący o tym, jak szybko kierowca reagował na zmianę sytuacji (czyli odległości od poprzedzającego pojazdu bądź prędkości – w zależności od wariantu). Drugi zdefiniowany parametr, wzmocnienie  $K$ , został zdefiniowany jako stosunek amplitud oscylacji sygnału wejściowego do wyjściowego. Parametr ten pokazuje więc, czy kierowca miał tendencję do zmniejszania amplitudy oscylacji prędkości/odległości ( $K < 1$ ), czy wręcz przeciwnie, eskalował jeszcze narzucone mu zmiany ( $K > 1$ ).

## Wyniki i dyskusja

Ponieważ zdecydowana większość zmiennych nie ma układu podobnego do normalnego, istotność różnic zbadano testem U Manna-Whitneya, natomiast korelacje zbadano, wyznaczając współczynniki korelacji rang Spearmana. We wszystkich testach przyjęto jako graniczną wartość poziomu istotności  $p = 0,05$ . Istotnie większy odsetek kierowców zawodowych w stosunku do amatorów uniknął uderzenia w pieszego ( $U = 1460$ ). Kierowców zawodowych i amatorów różnicują czasy reakcji  $T_d$  w obu wariantach sposobu reakcji kierowcy (odpowiednio:  $U = 1350$  i  $U = 1430$ ), nie różnicują natomiast wzmocnienia. Kierowcy zawodowi reagowali później na zmieniające się warunki, dłużej oczekując przed zmianą prędkości. Nie wpływało to jednak na różnicę w wygładzeniu oscylacji pomiędzy kierowcami zawodowymi a amatorami – obu grup nie różnicuje wzmocnienie  $K$ , czyli stosunek amplitud oscylacji pojazdu osoby badanej i uciążliwego.

W przypadku amatorów, porównując osoby, które uniknęły uderzenia, z tymi, którym się to nie udało widać, że obie te grupy różnicują oba parametry ( $T_d$  i  $K$ ) opisujące pierwszy wariant reakcji, w którym celem kierowcy jest utrzymanie optymalnej odległości (odpowiednio:  $U = 287$  i  $U = 246$ ). Osoby szybciej (mniejsze  $T_d$ ) i gwałtowniej (większe  $K$ ) reagujące na zmianę odległości od poprzedzającego pojazdu rzadziej uderzały w pieszego. W przypadku amatorów czas reakcji hamowania w sytuacji wypadkowej skorelowany jest ze wzmocnieniem  $K$  w pierwszym wariancie modelu ( $R = -0,333$ ) – krótszy czas reakcji wiązał się z gwałtowniejszą jazdą podczas podążania za uciążliwym pojazdem. Co ciekawe, krótszy czas reakcji wiązał się też z większą odległością utrzymywaną od uciążliwego pojazdu ( $R = -0,312$ ). Oznacza to, że w grupie amatorów osoby, które gwałtowniej i szybciej reagowały na zmianę odległości od poprzedzającego pojazdu, utrzymując przy tym większą odległość, okazały się bezpieczniejsze w rozważanej sytuacji wypadkowej od osób jadących spokojniej, ale bliżej. Jednocześnie nie zaobserwowano żadnej istotnej zależności w przypadku drugiego wariantu sposobu reakcji.

W przypadku kierowców zawodowych sytuacja ta wygląda inaczej. Osoby, które uniknęły uderzenia od tych, którym się to nie udało, odróżnia opóźnienie  $T_d$  w drugim wariancie, w którym celem kierowcy jest utrzymanie prędkości ( $U = 254$ ). Osoby, które reagowały szybciej na zmianę prędkości pojazdu poprzedzającego, częściej unikały uderzenia w pieszego. Osoby te miały również krótszy czas reakcji pedałem hamulca w sytuacji wypadkowej ( $R = 0,307$ ). Ten czas reakcji jest również skorelowany ze wzmocnieniem  $K$  w drugim wariancie ( $R = 0,338$ ). Korelacja jest dodatnia: krótszy czas reakcji pedałem hamulca w sytuacji wypadkowej miały osoby, u których amplituda oscylacji prędkości była mniejsza. Dodatkowo zaobserwowano, że kierowcy zawodowi, których cechował krótszy czas reakcji w sytuacji wypadkowej, intensywniej zmieniali położenie pedału przyspieszenia podczas podążania za uciążliwym pojazdem ( $R = -0,294$ ).

Na podstawie tych wyników można wysnuć wniosek, że w symulowanej sytuacji pn. podążania za pojazdem zmieniającym swoją prędkość reakcje kierowców zawodowych lepiej opisuje wariant, w którym celem kierowcy jest utrzymanie zadanej prędkości, natomiast amatorów wariant, w którym celem jest utrzymanie odległości między pojazdami. Jednocześnie parametry opisujące te warianty korelują z parametrami opisującymi reakcję kierowcy w rozważanej symulowanej sytuacji wypadkowej.

## Wnioski

Opisane wyniki pokazały, że możliwe jest zdefiniowanie modelu opisującego reakcję kierowcy na zmieniające się warunki drogowe w sytuacji normalnej jazdy. Model ten opisany jest parametrami, które można wyznaczyć w warunkach rzeczywistych lub symulacyjnych na podstawie pomiaru wielkości takich jak prędkość i odległość do poprzedzającego pojazdu. Jednocześnie, parametry opisujące ten model współwystępują z parametrami opisującymi sytuację wypadkową, mogą więc być wykorzystywane jako predyktory zachowań w sytuacji wypadku drogowego.

\* \* \*

**Publikacja opracowana na podstawie wyników zadania badawczego pn. „Badanie parametrów opisujących reakcję kierowcy w sytuacji wypadkowej” (zadanie III-45) realizowanego w ramach działalności statutowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego.**

## LITERATURA

1. J. Zheng, K. Suzuki, i M. Fujita, „Car-following behavior with instantaneous driver–vehicle reaction delay: A neural-network-based methodology”, *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, Vol. 36, pp. 339–351, 2013.
2. M.M. Haque i S. Washington, „A parametric duration model of the reaction times of drivers distracted by mobile phone conversations”, *Accid. Anal. Prev.*, Vol. 62, pp. 42–53, 2014.
3. D. H. Weir i D. T. McRuer, „A theory for driver steering control of motor vehicles”, *Highw. Res. Rec.*, No. 247, 1968.
4. R. A. Hess i A. Modjtahedzadeh, „A control theoretic model of driver steering behavior”, *IEEE Control Syst. Mag.*, Vol. 10, No. 5, pp. 3–8, 1990.
5. P. Budziszewski, K. Kędzior, A. Łuczak, E. Smoczyńska, i M. Kruszewski, „Kierowcy zawodowi a amatorzy w sytuacji wypadkowej – wstępne wyniki badań na symulatorze jazdy samochodem”, *Logistyka – Nauka*, t. 4, s. 2637–2648, 2015.
6. P. Budziszewski, „Badanie i modelowanie układu kierowca – samochód w sytuacji wypadku drogowego – Rozprawa doktorska”. Warszawa: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, 2016.
7. T. Kamiński, „Wybrane kierunki badań centrum zarządzania i telematyki transportu”, *Transp. Samoch.*, nr 3, s. 61–78, 2012.
8. P. Budziszewski, K. Kędzior, „Reakcja kierowcy w chwili poprzedzającej wypadek – badania z wykorzystaniem symulatora jazdy samochodem”, *Mechanik*, t. 86, nr 7, s. 61–70, 2013.
9. UK Highways Agency, „Highways Agency warns tailgaters that «only a fool breaks the 2-second rule»”, 22-maj-2014. [Online]. Dostępne na: <https://www.gov.uk/government/news/highways-agency-warns-tailgaters-that-only-a-fool-breaks-the-two-second-rule>. [Udostępniono: 15-lis-2015].