

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE VEHICLE ACCELERATION WITH AN AUTOMATIC TRANSMISSION<sup>1</sup>

---

**Eng. Filip Kirilov, PHD Student**

Department of Transport,  
“Angel Kanchev” University of Ruse  
Phone: 0885004356  
E-mail: f.kirilov@uni-ruse.bg

**Assoc. Prof. Daniel Lyubenov, PhD**

Department of Transport,  
“Angel Kanchev” University of Ruse  
Phone: (+359) 082 888 605  
E-mail: dliubenov@uni-ruse.bg

***Abstract:** This article presents the results of experimental studies of the acceleration of a vehicle with a stepless automatic transmission. A vehicle of category M1 and a precise registration system were used. The experimental studies were conducted at different rates of starting and movement - normal, fast and very fast. The Statistical Package for the Social Sciences and the Matrix Laboratory were used for statistical processing of the results. The main numerical characteristics and the confidence interval are determined. A suitable empirical model was chosen, which approximates the acceleration depending on the distance traveled.*

***Keywords:** Acceleration, Vehicle, Automatic Transmission.*

***JEL Codes:** L91*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Съвместното участие в движението на различни превозни средства е една от причините за някои проблеми в автомобилизацията. По пътищата на България се движат превозни средства с различни динамични свойства. Изследването на динамични свойства на превозните средства е една от основните задачи при решаване на редица транспортни проблеми [Milchev, M., Stoyanov, P., 2018; Uzunov, H., Matzinski, P., Dechkova, S., Dimov, N., 2021; Stoyanov, P., 2010; Kadikyanov G., Z. Kolev, S. Kadirova, 2019; Balbuzanov, T., 2019; Evstatiev, B., Balbuzanov, T., Beloev, I., Pencheva, V., 2019].

За измерване на ускоренията при потегляне на превозни средства се използват различни методи (пето колело, системи с инерционни сензори и др.) [Kirilov F., Lyubenov, D., 2018; Lyubenov, D., 2011; Kirilov F., Lyubenov, D., 2020; Racelogic, 2021]. Някои от тях изискват значително време за подготовка и монтаж, скъпи са, а в редица случаи са трудно или неприложими за конкретни превозни средства.

Целта на тази работа е получаване на количествени стойности за ускоренията при потегляне на автомобил с безстепенна автоматична предавателна кутия при различни условия.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

При изследване на пътни произшествия особено важно е определянето на ускорението на различните автомобили. Обект на това изследване е автомобил с безстепенна автоматична предавателна кутия. Изборът на такъв обект е продиктуван от обстоятелството, че автомобилите с автоматични предавателни кутии се използват все повече. Много често при

---

<sup>1</sup> Докладът е представен на научна сесия на 30 октомври 2021 с оригинално заглавие на български език: ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА УСКОРЕНИЕТО НА АВТОМОБИЛ С АВТОМАТИЧНА ПРЕДАВАТЕЛНА КУТИЯ.

изследване на произшествия, се налага експертите да използват стойности за ускоренията от литературни източници. Тези стойности в специализираната литература за съжаление са или твърде малко или се отнасят за стари модели автомобили, което води до неточност при изчисленията и не на последно място приеманите данни на ускорението в повечето случаи не се отнасят за конкретния автомобил, вида и състоянието на пътя, където е настъпило произшествието.

За това изследване е използвано оборудване за регистрация и съхранение на данни на базата на ново поколение сателитни приемници с възможност за измерване различни параметри на движещите се обекти [Racelogic (2021)]. Използват се две антени, които позволяват да се определят не само координатите и скоростта, но и по-трудно измерими параметри като плъзгане, колебание и ротация при движение. Основните параметри, регистрирани от системата са дадени в табл. 1.

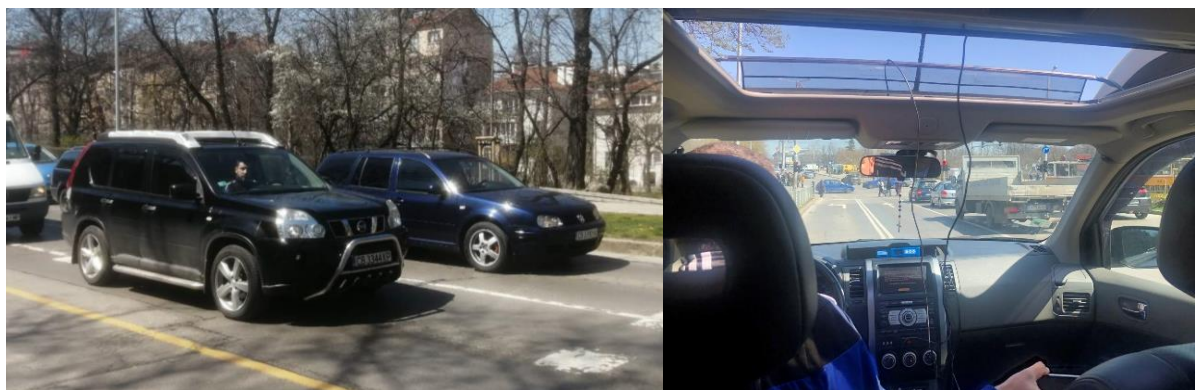
Таблица 1.

Основни параметри и характеристики

| Параметър                 | Характеристики   |
|---------------------------|--|
| Скорост                   | От 0,1 до 1609 km/h, разсейване 0,1 km/h   |
| Разстояние                | Точност 0,05%, разсейване 0,001m   |
| Местоположение            | Точност 2 м (95% CEP), разсейване 0,001m<br>Точност с DGPS 0,2 m, разсейване 0,01m, обновяване 20 Hz |
| Направление на движението | Точност 0,1°, разсейване 0,01°   |
| Ускорение                 | До 20 g, точност 0,05%, разсейване 0,01g   |
| Разсейване                | 0,01 Km/h  |

Изследването е проведено в реални условия по улици с ниска интензивност и плътност на движение, извън зоната на кръстовища в град София на прави хоризонтални участъци. Различни водачи потеглят и продължават движението си на право с два темпа – нормално и бързо. Изследванията са проведени при суха асфалтова настилка.

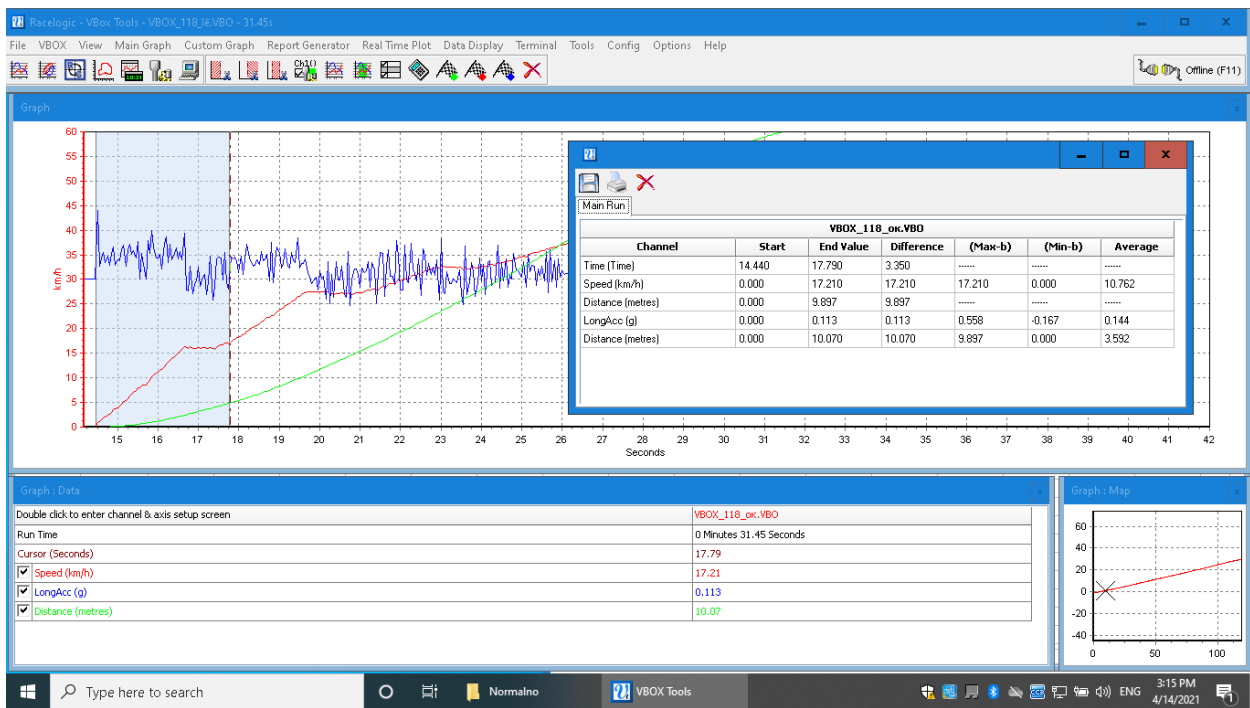
На фиг. 1 са показани снимки на автомобил Nissan, оборудван с регистриращата система, използван в изследването.



Фиг. 1. Nissan X-trail T31, оборудван с регистрираща система

За преглед и обработване на данните от представената система се използва специализиран софтуер. Резултатите от изследването са обработени със SPSS Statistics (Statistical Package for the Social Sciences) - софтуерен пакет, използван за интерактивен статистически анализ.

На фиг. 2. е представен реален запис на скоростта, ускорението и изминатото разстояние при ускоряване на автомобила.



Фиг. 2. Запис на скоростта (червената линия), ускорението (синята линия) и изминатото разстояние (зелената линия) на автомобила

Маркираният участък от графиката показва зоната за която се определя ускорението. Допълнителният прозорец Main Run показва резултатите за минималните, максималните и средните стойности на ускорението за конкретните разстояния. Средното ускорение при този опит за разстояние от 0 до 10 метра е 0,144 g или 1,413 m/s<sup>2</sup>. Аналогично са обработени ускоренията и за останалите изследвани разстояния и водачи. Методиката включва определяне на ускоренията за разстояния от 0 до 60 метра със стъпка 5 метра.

За изследваните темпове на потегляне са определени основните числови характеристики, доверителния интервал, изследвани са различни модели и е направен избор на подходящ емпиричен модел, който апроксимира ускорението в зависимост от изминатото разстояние, а също е определено статистическото разсейване на средните ускорения.

*Изследване на ускорението при нормално потегляне*

Резултатите за основните числови характеристики за този темп на ускоряване са представени в табл. 2.

Таблица 2.

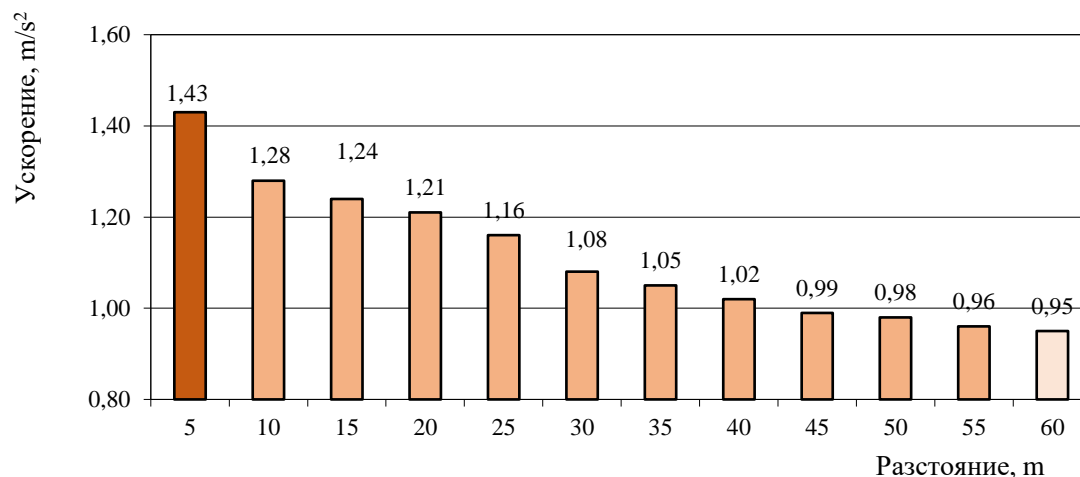
Основни числови характеристики при нормално потегляне

|                        | Statistics    |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                        | Ускорение 5 м | Ускорение 10 м | Ускорение 15 м | Ускорение 20 м | Ускорение 25 м | Ускорение 30 м | Ускорение 35 м | Ускорение 40 м | Ускорение 45 м | Ускорение 50 м | Ускорение 55 м | Ускорение 60 м |
| N Valid                | 10            | 10             | 10             | 10             | 10             | 10             | 10             | 10             | 10             | 10             | 10             | 10             |
| Missing                | 0             | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              |
| Mean                   | 1,4301        | 1,2824         | 1,2413         | 1,2140         | 1,1552         | 1,0764         | 1,0483         | 1,0150         | ,9947          | ,9781          | ,9602          | ,9575          |
| Std. Error of Mean     | ,04457        | ,03819         | ,03043         | ,02635         | ,01979         | ,01400         | ,01683         | ,01939         | ,01942         | ,02130         | ,02064         | ,02017         |
| Median                 | 1,4900        | 1,3210         | 1,2800         | 1,2550         | 1,1770         | 1,0560         | 1,0490         | 1,0000         | ,9870          | ,9860          | ,9670          | ,9650          |
| Mode                   | 1,52          | 1,32           | 1,28           | 1,25           | 1,18           | 1,06           | 1,05           | 1,00           | ,99            | ,99            | ,97            | ,97            |
| Std. Deviation         | ,14095        | ,12075         | ,09622         | ,08332         | ,06258         | ,04427         | ,05322         | ,06131         | ,06142         | ,06736         | ,06528         | ,06379         |
| Variance               | ,020          | ,015           | ,009           | ,007           | ,004           | ,002           | ,003           | ,004           | ,004           | ,005           | ,004           | ,004           |
| Skewness               | -1,031        | -,569          | -,854          | -1,087         | -1,195         | ,164           | ,510           | 1,084          | ,233           | 1,343          | ,285           | ,234           |
| Std. Error of Skewness | ,687          | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           |
| Kurtosis               | -,502         | ,067           | ,575           | ,922           | 1,262          | -,214          | -,084          | ,850           | ,374           | -,667          | -,624          | -,673          |
| Std. Error of Kurtosis | 1,334         | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          |
| Range                  | ,41           | ,41            | ,33            | ,29            | ,21            | ,14            | ,16            | ,18            | ,18            | ,19            | ,18            | ,17            |
| Minimum                | 1,17          | 1,06           | 1,05           | 1,04           | 1,02           | 1,00           | ,97            | ,92            | ,89            | ,88            | ,88            | ,88            |
| Maximum                | 1,58          | 1,47           | 1,38           | 1,32           | 1,23           | 1,14           | 1,13           | 1,13           | 1,10           | 1,08           | 1,06           | 1,05           |
| Sum                    | 14,30         | 12,82          | 12,41          | 12,14          | 11,55          | 10,76          | 10,48          | 10,15          | 9,95           | 9,78           | 9,60           | 9,57           |

Резултатите за основните числови характеристики за ускорението на разстояние 5 метра определят, че: средната стойност на ускорението (Mean) е 1,430 m/s<sup>2</sup>; медианата на извадката

(Median) е 1,490 m/s<sup>2</sup>; модата (Mode), т.е. най-често срещаната стойност е 1,520, средноквадратичното отклонение (Std. Deviation) е 0,141; дисперсията (Variance) 0,020; коефициентът на асиметрия (Skewness) е -1,031; стандартната грешка на коефициента на асиметрия (Std. Error of Skewness) е 0,687; коефициентът на ексцес (Kurtosis) е -0,502; стандартната грешка на коефициента на ексцес (Std. Error of Kurtosis) е 1,334; размахът на извадката (Range) е 0,410; най-малката наблюдавана стойност (Minimum) е 1,170 m/s<sup>2</sup>; най-голямата наблюдавана стойност (Maximum) е 1,580 m/s<sup>2</sup>. Аналогично е тълкуванието на основните числови характеристики и за останалите изследвани разстояния.

На фиг. 3. са представени средните стойности на ускорението при нормално потегляне за всички изследвани разстояния от 5 до 60 метра.



Фиг. 3. Средни стойности на ускорението в зависимост от разстоянието

В табл. 3 са представени резултати от направеното изследване за интервалните оценки на средните ускорения на автомобилите за различните разстояния при бързо ускорение.

Таблица. 3

Интервални оценки на средните ускорения

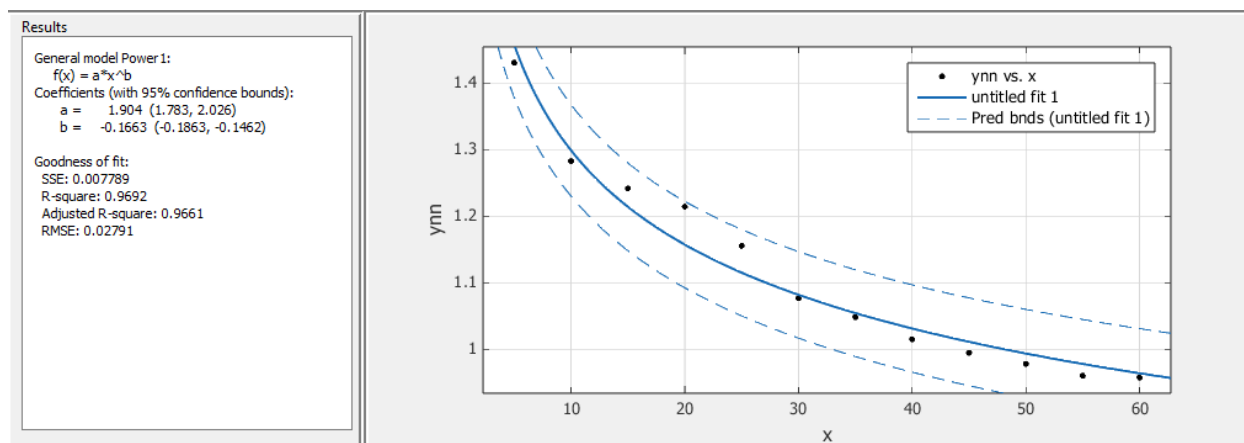
| Разстояние, метри | Доверителен интервал на средното разстояние, гарантиран с вероятност $\gamma = 0,95$ |               |
|-------------------|--|---------------|
|                   | долна граница  | горна граница |
| 5                 | 1,3293   | 1,5309        |
| 10                | 1,1960   | 1,1960        |
| 15                | 1,1725   | 1,3101        |
| 20                | 1,1544   | 1,2736        |
| 25                | 1,1104   | 1,2000        |
| 30                | 1,0447   | 1,1081        |
| 35                | 1,0102   | 1,0864        |
| 40                | 0,9711   | 1,0589        |
| 45                | 0,9508   | 1,0386        |
| 50                | 0,9299   | 1,0263        |
| 55                | 0,9135   | 1,0069        |
| 60                | 0,9119   | 1,0031        |

От интервални оценки на средните ускорения за различните разстояния може да се приеме, че в 95% от случаите, тези стойности биха попадали между определените граници.

Резултатите от проведеното изследване на ускорението на автомобил с автоматична предавателна кутия са за дискретни стойности на разстоянията. В експертната практиката

възниква необходимост да се определят ускоренията за различни разстояния в зависимост от механизма на конкретното произшествие. Това налага да се конструира емпиричен модел, който апроксимира ускорението в зависимост от изминатото разстояние, за конкретното ПТП.

Изследвани са различни модели. За определяне на коефициентите в модела е използван програмен продукт *Matlab R2013*. При тези условия е определен емпиричният модел, който апроксимира ускорението в зависимост от изминатото разстояние. На фиг. 4 са представени резултати от направените изчисления.



Фиг. 4. Уравнение на апроксимиращата крива и доверителен интервал

От изследваните три модела – линеен, степенен и експоненциален, най-подходящ (с най-добри статистически показатели) е степенният. С пълтна линия графично е представен емпиричният модел, а с прекъснати линии е очертан доверителният интервал на модела. На тази фигура са представени също аналитичният вид на модела, стойността на неговите коефициенти, доверителните интервали на тези коефициенти, както и основни статистически показатели.

Моделът, който апроксимира ускорението в зависимост от изминатото разстояние при нормално ускорение има следният окончателен вид

$$a = 1,904x^{-0,1663}, \quad (1)$$

където  $x$  е разстоянието,  $m$

Коефициентът 1,904 пред променливата в модела е положителен, а коефициентът, описващ степенният показател -0,1663 в модела е отрицателен, което е в синхрон с направените теоретични предпоставки. Тези коефициенти са статистически значими. Това се вижда от техните доверителни интервали. Коефициентът на детерминация е  $R^2 = 0,9692$ . Той е близък до единица, което означава, че предложеният модел адекватно описва емпиричните данни (моделът описва приблизително 97% от данните).

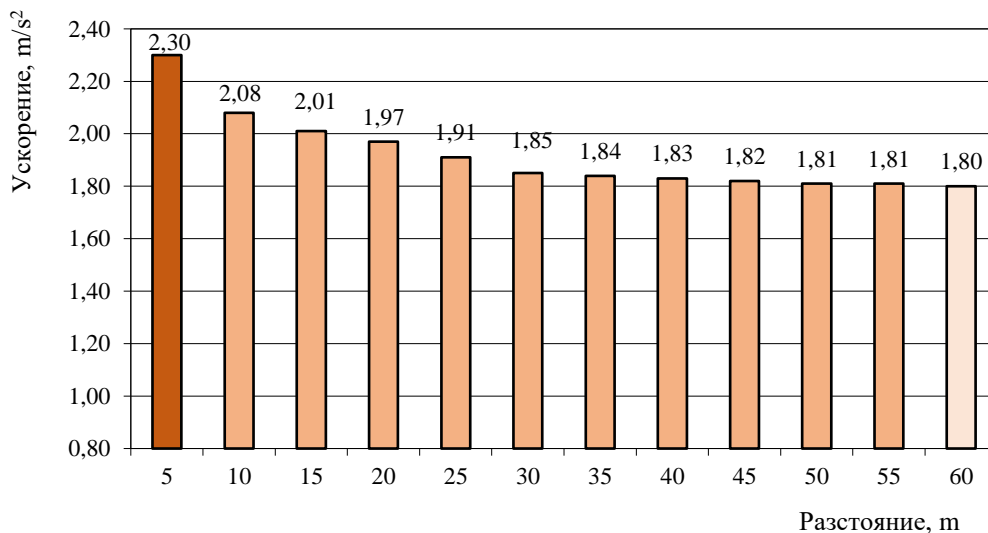
*Резултати от изследването на ускорението при бързо потегляне*

Основните числови характеристики за това изследване са представени в табл. 4. Тълкуването на основните числови характеристики за този темп на ускоряване за всички изследвани разстояния е аналогично на представеното в табл. 2.

Основни числови характеристики при бързо потегляне

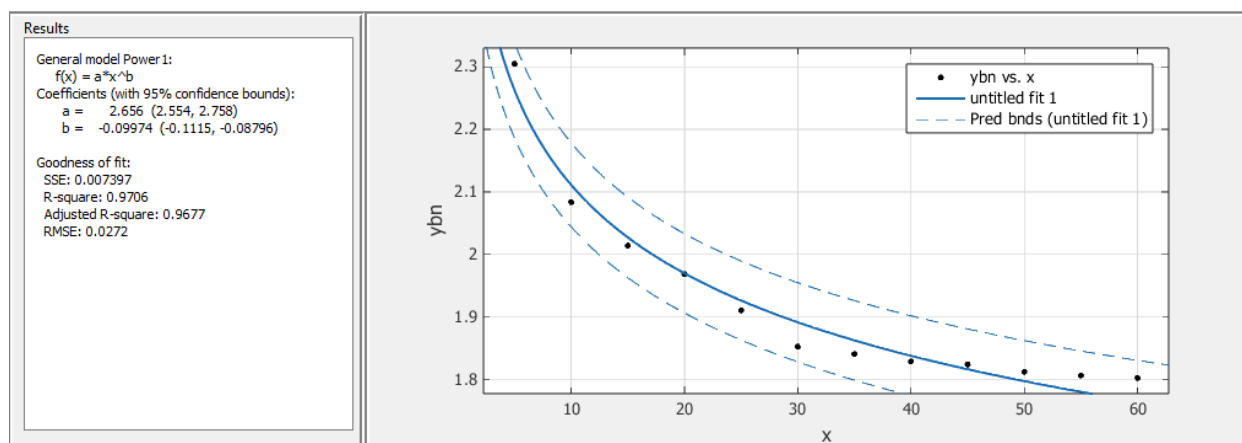
| Statistics             |               |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                        | Ускорение 5 м | Ускорение 10 м | Ускорение 15 м | Ускорение 20 м | Ускорение 25 м | Ускорение 30 м | Ускорение 35 м | Ускорение 40 м | Ускорение 45 м | Ускорение 50 м | Ускорение 55 м | Ускорение 60 м |
| N Valid                | 10            | 10             | 10             | 10             | 10             | 10             | 10             | 10             | 10             | 10             | 10             | 10             |
| Missing                | 0             | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              |
| Mean                   | 2,3045        | 2,0837         | 2,0143         | 1,9688         | 1,9111         | 1,8531         | 1,8414         | 1,8294         | 1,8247         | 1,8130         | 1,8070         | 1,8032         |
| Std. Error of Mean     | ,02075        | ,03589         | ,03982         | ,04221         | ,03552         | ,03345         | ,02774         | ,02418         | ,01965         | ,01279         | ,01088         | ,01004         |
| Median                 | 2,3280        | 2,0690         | 1,9660         | 1,9035         | 1,8600         | 1,8055         | 1,8055         | 1,8005         | 1,8055         | 1,8105         | 1,8105         | 1,8085         |
| Mode                   | 2,34          | 2,07           | 1,93           | 1,89           | 1,84           | 1,80           | 1,80           | 1,80           | 1,81           | 1,81           | 1,81           | 1,81           |
| Std. Deviation         | ,06563        | ,11348         | ,12591         | ,13348         | ,11231         | ,10576         | ,08772         | ,07648         | ,06212         | ,04045         | ,03439         | ,03174         |
| Variance               | ,004          | ,013           | ,016           | ,018           | ,013           | ,011           | ,008           | ,006           | ,004           | ,002           | ,001           | ,001           |
| Skewness               | -2,569        | -0,59          | ,633           | ,849           | ,789           | ,733           | ,588           | ,364           | -,160          | -1,486         | -2,366         | -2,755         |
| Std. Error of Skewness | ,687          | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           | ,687           |
| Kurtosis               | 7,198         | -4,56          | -1,289         | -1,198         | -1,209         | -1,133         | -1,018         | -,699          | ,234           | 3,570          | 6,608          | 8,210          |
| Std. Error of Kurtosis | 1,334         | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          | 1,334          |
| Range                  | ,22           | ,34            | ,33            | ,34            | ,29            | ,28            | ,25            | ,23            | ,20            | ,14            | ,12            | ,11            |
| Minimum                | 2,13          | 1,88           | 1,85           | 1,81           | 1,78           | 1,72           | 1,72           | 1,71           | 1,71           | 1,72           | 1,72           | 1,72           |
| Maximum                | 2,34          | 2,23           | 2,19           | 2,16           | 2,07           | 2,00           | 1,96           | 1,93           | 1,90           | 1,85           | 1,83           | 1,82           |
| Sum                    | 23,05         | 20,84          | 20,14          | 19,69          | 19,11          | 18,53          | 18,41          | 18,29          | 18,25          | 18,13          | 18,07          | 18,03          |

На фиг. 5. са представени средните стойности на ускорението при бързо потегляне за всички изследвани разстояния от 5 до 60 метра.



Фиг. 5. Средни стойности на ускорението в зависимост от разстоянието

Определен е и емпиричният модел, който апроксимира ускорението в зависимост от изминатото разстояние (фиг. 6).



Фиг. 6. Уравнение на апроксимиращата крива и доверителен интервал

Моделът, който апроксимира ускорението в зависимост от изминатото разстояние при бързо ускорение има следния окончателен вид

$$a = 2,656x^{-0,09974}, \quad (2)$$

където  $x$  е разстоянието,  $m$ .

Получените модели за различните темпове на ускоряване дават възможност да се определят с достатъчна точност ускоренията във функция от изминатото разстояние за конкретни разстояния в съответствие с механизма на произшествието.

## ИЗВОДИ

Представена е методика и оборудване за измерване на динамични свойства на превозни средства в реални условия.

Получени са актуални данни в реални пътни условия за ускорението на автомобил с автоматична предавателна кутия при различни темпове на ускоряване. Средните стойности на ускорението за изследваните разстояния при нормално ускоряване са в границите от 1,43 до 0,95  $m/s^2$ . За бързо ускоряване тези граници са от 2,30 до 1,80  $m/s^2$ .

Конструирани са емпирични модели, които апроксимират ускорението в зависимост от изминатото разстояние, за различни темпове на ускоряване.

Докладът отразява резултатите от работата по проект № 2021-ФТ-01, финансиран от Фонд научни изследвания на Русенския университет.

## REFERENCES

Balbuzanov, T. (2019). *Methods to reduce the number of incidents with vulnerable road users*. Proceedings of University of Ruse, Volume 58, Book 4, p. 129-135.

Evstatiev, B., Balbuzanov, T., Beloev, I., & Pencheva, V. (2019). *Intelligent System For Improved Safety Of Pedestrian Traffic Lights*. Transport problems, No 14(1), pp. 35-43.

Kadikyanov, G., Kolev, Z., & Kadirova, S. (2019) *The comparative assessment relating to CO2 emissions of cars air conditioning systems using different refrigerants*. Proceedings of XI International Conference Transport Problems, pp.289-294.

Kirilov, F., & Lyubenov, D. (2020). *A study of the Braking Properties of Individual Electric Vehicle*. Proceedings of University of Ruse. Volume 59, Book 4.2, p. 76-83. ISSN 1311-3321

Kirilov, F., & Lyubenov, D. (2018). *A Study of Motorcycle Acceleration in Real Traffic Flow*. Proceedings of University of Ruse. Volume 57, Book 4, p. 148-153.

Lyubenov, D. (2011). *Research of the stopping distance for different road conditions*. Scientific Journal "Transport Problems", Volume 6, Issue 4, p. 119-126. ISSN 1896-0596

Milchev, M., & Stoyanov, P. (2018). *Simulation modeling to examine traffic organization at crossroad*. X International Conference Transport problems, p. 486-493.

Stoyanov, P. (2010). *Study of the movement of trolleybuses on line "27" of public transport in Ruse*. Proceedings of University of Ruse. Volume 49, Book 4, p. 53-57. (Оригинално заглавие: Стоянов, П., 2010. Изследване движението на тролейбусите по линия „27“ от градския транспорт в гр. Русе. Научни трудове на Русенския университет, том 49, серия 4, с. 53-57).

Uzunov, H., Matzinski, P., Dechkova, S., & Dimov, N. (2021). *Systems Engineering Information Model of Vehicle-Pedestrian Collisions*. Cybernetics and Information Technologies, 21(1), pp. 151–168.

<https://www.racelogic.co.uk/index.php/en> (2021). *GPS measurement system*.