

FRI-ONLINE-2-SITST-04

---

## STUDY OF STATISTICAL CHARACTERISTICS OF THE LIGHT ABSORPTION COEFFICIENT OF THE EXHAUST GASES IN DIESEL ENGINES<sup>1</sup>

---

**Georgi Palagachev, M. Eng.**

Department of Combustion Engines, Automobile Engineering and Transport,  
Technical University of Sofia, Faculty of Transport  
Phone: +359 2 9653931  
E-mail: gpalagachev@tu-sofia.bg

**Assis. Prof. Tzanko Georgiev, M. Eng.**

Department of Industrial Automation,  
Technical University of Sofia, Faculty of Automatics  
Phone: +359 965 2408  
E-mail address: tzg@tu-sofia.bg

**Assoc. Prof. Volodia Kirov, PhD**

Department of Combustion Engines, Automobile Engineering and Transport,  
Technical University of Sofia, Faculty of Transport  
Phone: +359 2 9653931  
E-mail: vkirov@tu-sofia.bg

***Abstract:** The report deals with preliminary results of an investigation of statistical characteristics of the light absorption coefficient of the exhaust gases of diesel engines. For the purposes of the study, data from measurements of environmental parameters of cars in operation, powered by diesel engines were used. The measurements were performed in 15 consecutive years (2004 - 2018) throughout the country. By using the software product "Statgraphics" the distribution of the studied parameter was established both for each year separately and for the whole period of measurements. The aim of the study is to establish the possibility of performing a statistical analysis (Analysis of Variance (ANOVA), Regression analysis, Weibull analysis), which will give a possibility to reveal the correlation between the measured coefficient of light absorption of exhaust gases in diesel engines and other parameters and factors.*

***Keywords:** Measurements, Light absorption coefficient, Diesel engines, Statistical Distributions*

***JEL Codes:***

### ВЪВЕДЕНИЕ

Работата разглежда статистически анализ на данни от измерване на коефициента на поглъщане на светлината на отработилите газове на моторни превозни средства с двигатели със запалване чрез сгъстяване на работната смес (дизелови двигатели). Измерванията се извършват съгласно утвърдена методика (*Ordinance № Н-32, 2011*), която включва:

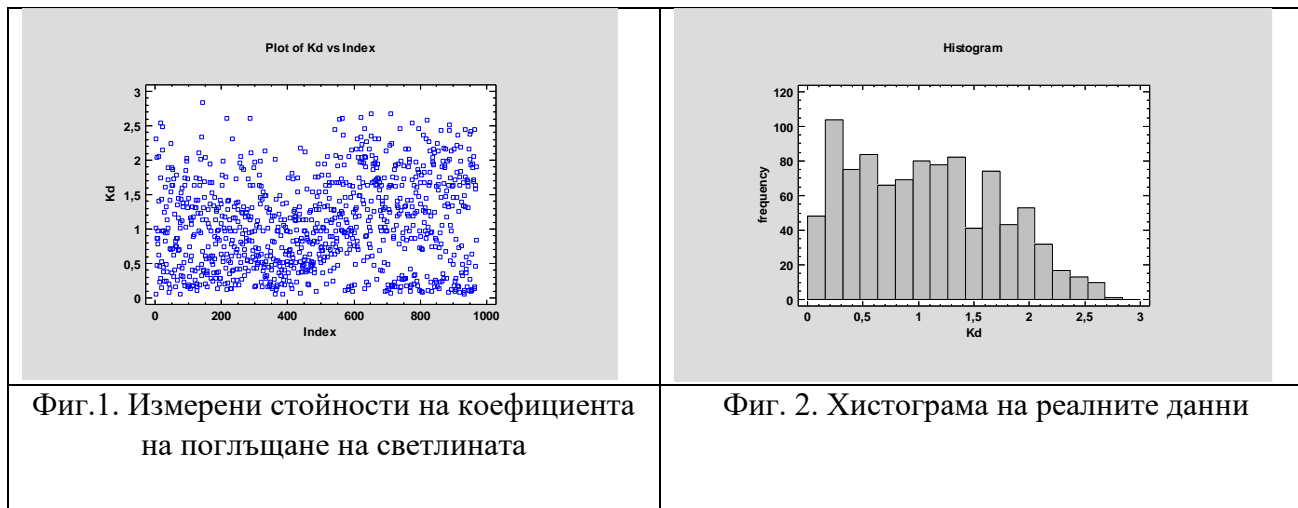
- условия за извършване на измерването;
- монтиране и работа с димомер;
- измервания съгласно Наредба № Н-32 от 16 декември 2011 г. за периодичните прегледи за проверка на техническата изправност на пътните превозни средства, Министерство на транспорта, информационните технологии и съобщенията (обн., ДВ,

---

<sup>1</sup> Докладът е представен на пленарната сесия на 13 ноември 2020 с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТАТИСТИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА КОЕФИЦИЕНТА НА ПОГЛЪЩАНЕТО НА СВЕТЛИНАТА НА ОТРАБОТЕНИТЕ ГАЗОВЕ В ДИЗЕЛОВИТЕ ДВИГАТЕЛИ

бр. 104 от 27.12.2011 г., в сила от 1.01.2012 г., посл. изм. и доп. бр. 38 от 8.05.2018 г., в сила от 20.05.2018 г.)

Измерванията се разглеждат като случайна величина, представена с извадка от генералната съвкупност с деветстотин и седемдесет (970) стойности в интервала  $0,05 \div 2,84 \text{ m}^{-1}$ . Извадката е представена графично на фиг. 1. Коефициентът на поглъщане на светлината на отработилите газове е означен с **Kd**, а номерът на измерена стойност чрез **Index**.



Измерените стойности представят период от 2004 г. до 2018 г. – петнадесет години. Приложена е описателна статистика за изследване на данните по години, като резултатите са представени в следната таблица (Bernard Oste, Kenneth V. Turner, Jr., Charles R. Nics, Gayle W. McElrath, 1996, Thomas P. Ryan, 2007).

Таблица 1. Централна тенденция, разсейване и „форма“ на извадките за някои от годините.

	2004	2007	2010	2014	2018
Брой	61	129	56	66	44
Средна стойност	1,03754098	0,959147287	0,8775	1,09318182	1,13477273
Медиана	0,94	0,86	0,82	1,15	1,33
Дисперсия	0,460365519	0,327032861	0,203237273	0,510255874	0,695765063
Стандартно отклонение	0,678502409	0,57186787	0,450818448	0,714321968	0,834125328
Коефициент на вариация	65,3952393%	59,6225291%	51,3753217%	65,3433817%	73,5059372%
Асиметрия	0,489799637	0,66259914	0,52437506	0,107024016	0,00509746001
Стандартизирана асиметрия	1,56173647	3,07234582	1,60199227	0,354958505	0,013803987
Ексцес	-0,79390106	-0,0940573503	-0,474090799	-1,03352145	-1,57592847
Стандартизиран ексцес	-1,26568513	-0,218062996	-0,724185657	-1,71390143	-2,13381723

Таблицата показва, че емпиричното разпределение в отделните подизвадки (по години) изменя своята форма (Фиг. 2). В този случай могат да се поставят следните задачи:

- да се търси разпределение с параметри: мащаб и форма;
- образуване на нови групиращи променливи, освен по години, за изследване на емпиричното разпределение.

Статистическият анализ е извършен средата на програмния продукт STATGRAPHICS (STATGRAPHICS, 2013).

## ИЗЛОЖЕНИЕ

Едно от разпространените разпределения с параметри – форма и мащаб е вероятностното разпределение на Вейбул (Robert V. Abernethy, 2004). Плътноста на

разпределение за положителни параметри – форма  $\alpha$ , мащаб  $\beta$ ,  $L(x)$  - гама функция, има вида:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{(\alpha-1)} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}, \text{ за } x > 0 \quad (1)$$

Средната стойност може да се запише от вида:

$$\frac{\beta}{\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right) \quad (2)$$

Дисперсията има вида:

$$\frac{\beta^2}{\alpha} \left[ 2\Gamma\left(\frac{2}{\alpha}\right) - \frac{1}{\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)^2 \right] \quad (3)$$

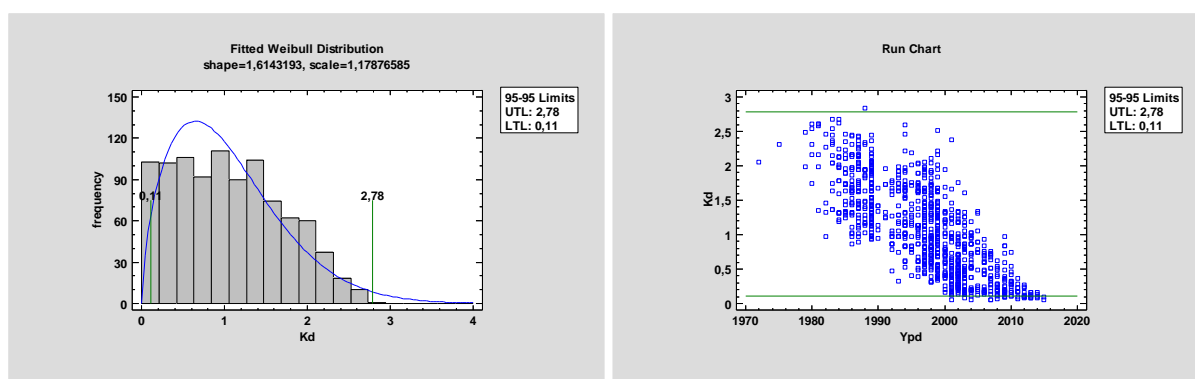
Разпределението на Вейбул може да опише, в зависимост от параметрите си, следните частни случаи на разпределения: експоненциално разпределение, разпределение на Рейли, логаритмично-нормално разпределение, нормално разпределение (Разпределение на Гаус).

### Изследване на дължината на извадката

Приемайки, че коефициентът **Kd** се подчинява на разпределение на Вейбул са получени следните стойности:

- Размер на извадката = 970;
- форма = 1,6143193;
- мащаб = 1,17876585.

Доверителният 95,0 % интервал за деветдесет и пет процентно (95,0 %) изясняване на генералната съвкупност определя долна граница (**UTL**): 0,105047294 и горна граница (**LTL**): 2,78355317 за разполагане на разпределението (Фиг. 3). Въведено е означение **Ypd** – година на производство. Полученият резултат показва, че размерът на извадката е достатъчен за статистическо изследване.



Фиг. 3. Доверителни граници на цялостната извадка.

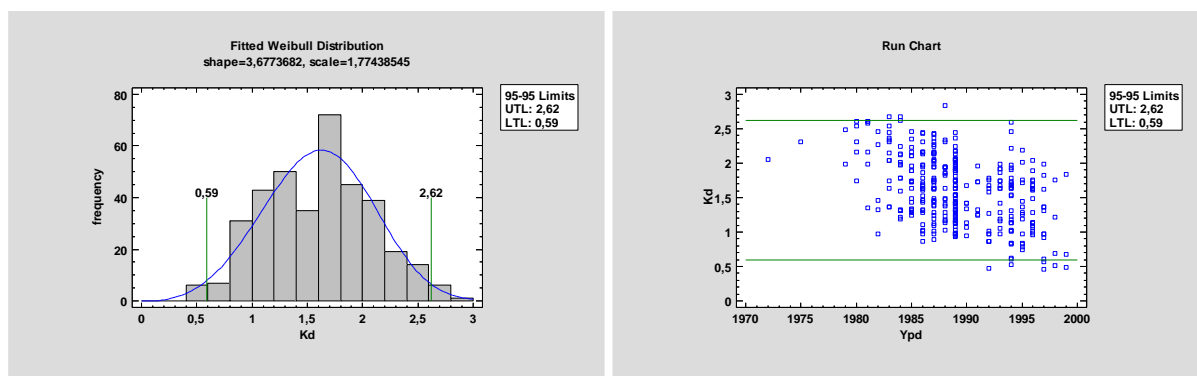
### Изследване на разпределението в различни групи: с атмосферно или с принудително пълнене на двигателите с вътрешно горене (ДВГ)

Данните за коефициента **Kd** се разделят на две групи в зависимост от фактора „пълнене“ на ДВГ: атмосферно и принудително. Резултатите, получени при определяне на разпределението в двете групи, са дадени в Таблица 2.

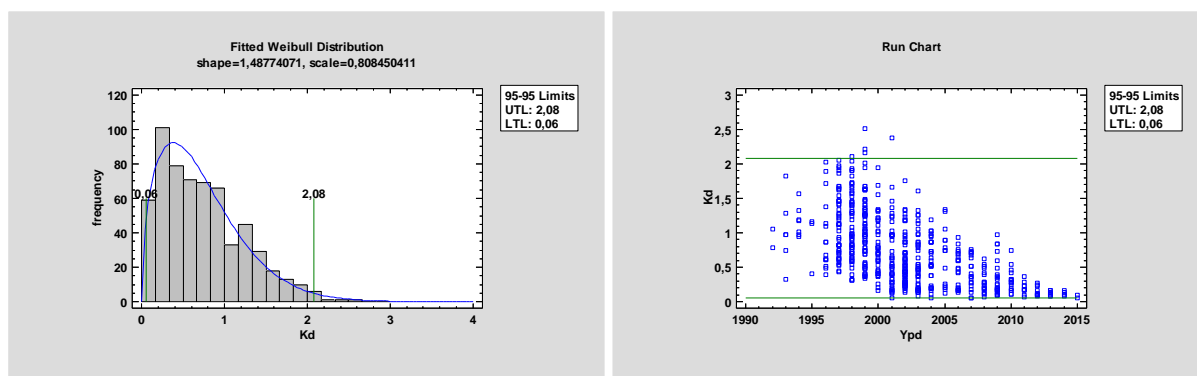
Таблица 2. Описателна статистика и P – стойности.

Пълнене	атмосферно	принудително	Параметри	атмосферно	принудително
Брой	368	602	брой	368	602
Средна стойност	1,59923913	0,729700997	форма	3,6773682	1,48774071
Медиана	1,64	0,63	мащаб	1,77438545	0,808450411
Дисперсия	0,235671899	0,247797914	Долна граница	0,591607193	0,056476564
Стандартно отклонение	0,485460502	0,497793043	Горна граница	2,62262115	2,08214479
Коефициент на вариация	30,3557168 %	68,2187698 %	P – стойност $\chi^2$	0,018207746	0,113409515
Асиметрия	0,0459276392	0,783413575	K – C P – стойност	0,29741609	0,103539338
Стандартизирана асиметрия	0,359685066	7,84718178			
Ексцес	-0,567411511	0,0379005216			
Стандартизиран ексцес	-2,22185867	0,189818183			

За определяне на разпределението се използват два критерия: критерий  $\chi^2$  и критерий на Колмогоров-Смирнов. Прави се проверка за разпределение на Вейбул, като P – стойност по-голяма от 0,05 потвърждава избраното разпределение. И в двата случая на пълнене разпределението е на Вейбул. Критерият на Колмогоров-Смирнов позволява да се подчертае, че в хистограмата, образувана от експерименталните данни, има пик в даден клас.



Фиг. 4. Разпределение на Вейбул при ДВГ с атмосферно пълнене.



Фиг. 5. Разпределение на Вейбул при ДВГ с принудително пълнене.

Ясно се наблюдава изменението на формата в двата случая на разглеждания фактор.

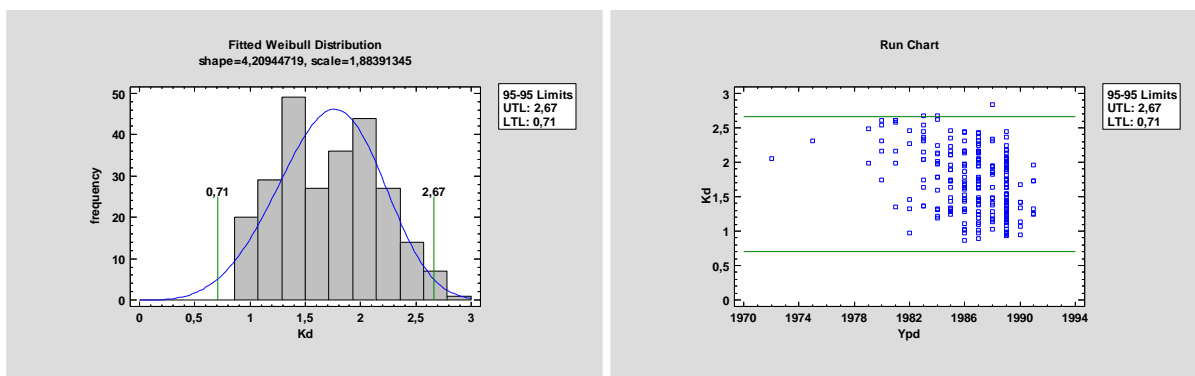
### Изследване на емпиричното разпределение при отчитане на Евро – стандартите

Получени са следните резултати (Таблица 3), като са посочени само за някои от Евро-стандартите.

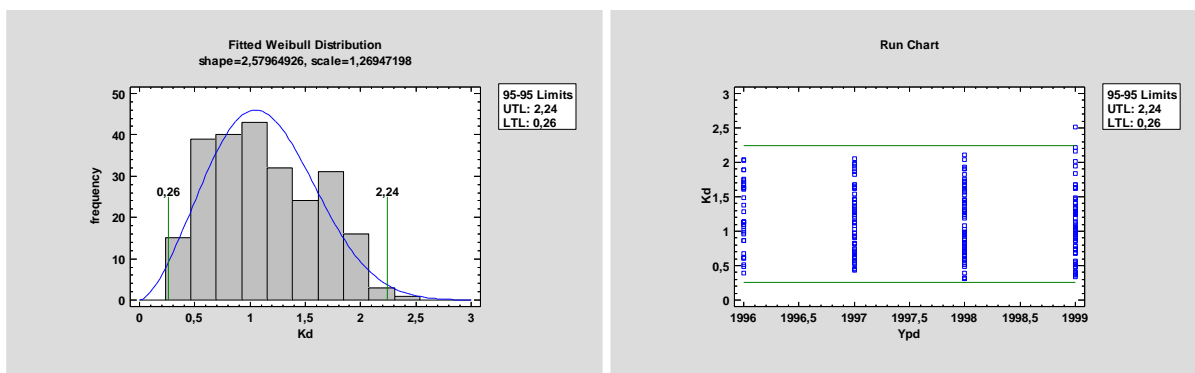
Таблица 3. Описателна статистика и параметри на разпределението на Вейбул

Стандарт	Извън стандарта	Параметри		Евро - 2	Параметри
Брой	254	брой	254	244	244
Средна стойност	1,71074803	форма	4,20944719	1,12409836	2,57964926
Медиана	1,73	мащаб	1,88391345	1,08	1,26947198
Дисперсия	0,204866237	Долна граница	0,708628988	0,225467908	0,2560951
Стандартно отклонение	0,452621516	Горна граница	2,66767884	0,474834611	2,24369388
Коефициент на вариация	26,4575208 %	P – стойност $\chi^2$	0,00055369241	42,2413756 %	0,00803068891
Асиметрия	0,153717043	K – C P – стойност	0,0903131372	0,316277243	0,359700568
Стандартизирана асиметрия	1,00014566			2,01691331	
Ексцес	-0,864575244			-0,735811029	
Стандартизиран ексцес	-2,81263925			-2,34614898	

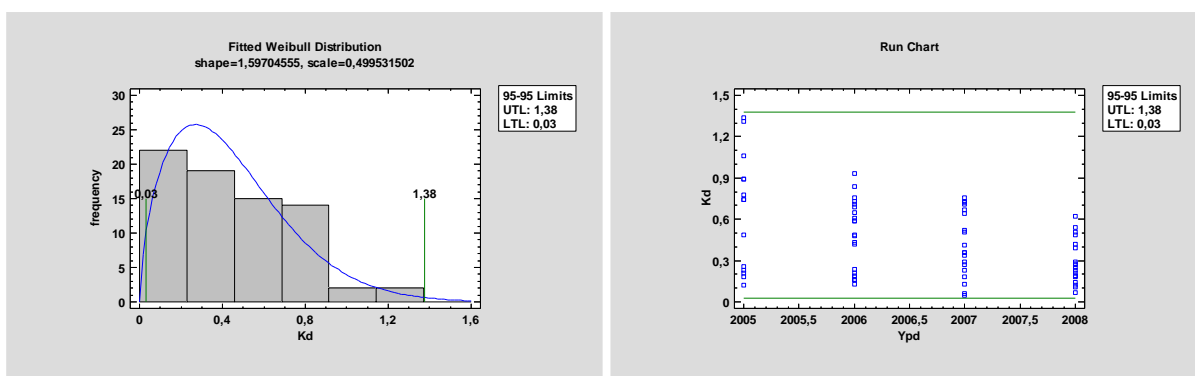
Стандарт	Евро - 4	Параметри		Евро - 6	Параметри
Брой	74	брой	74	7	7
Средна стойност	0,446351351	форма	1,59704555	0,102857143	3,10142208
Медиана	0,4	мащаб	0,499531502	0,09	0,115158676
Дисперсия	0,0858180118	Долна граница	0,0290659102	0,00149047619	0,0101400441
Стандартно отклонение	0,292947114	Горна граница	1,37805142	0,0386066858	0,282252777
Коефициент на вариация	65,6315061 %	P – стойност $\chi^2$	0,116631487	37,5342779 %	-
Асиметрия	0,874027885	K – C P – стойност	0,414603036	0,645487362	0,94396294
Стандартизирана асиметрия	3,06948506			0,697206036	
Ексцес	0,483227803			0,69240474	
Стандартизиран ексцес	0,848520135			0,373941298	



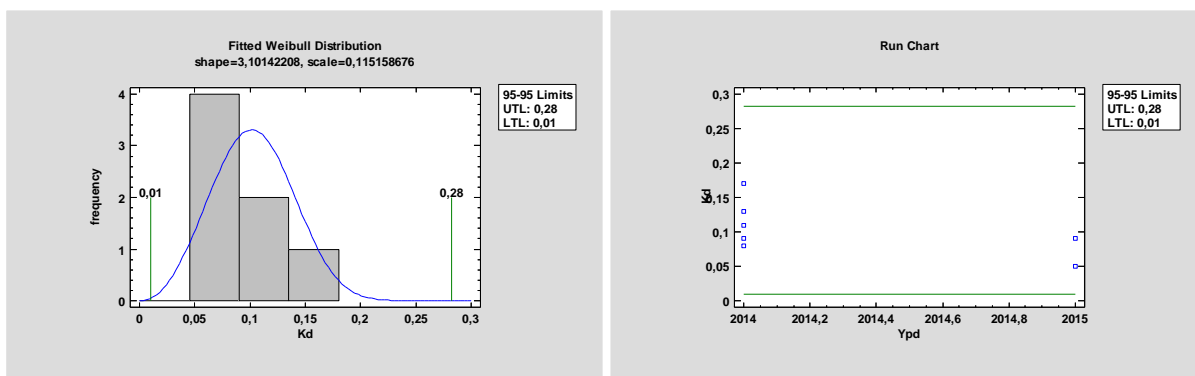
Фиг. 6. Разпределение на Вейбул с оценка на 95 % граници (за автомобили извън Евро-стандарта).



Фиг. 7. Разпределение на Вейбул с оценка на 95% граници (за автомобили от стандарт Евро-2)



Фиг. 8. Разпределение на Вейбул с оценка на 95 % граници (за автомобили от стандарт Евро-4)



Фиг. 9. Разпределение на Вейбул с оценка на 95 % граници (за автомобили от стандарт Евро-6)

Числените и графични резултати потвърждават разпределението на Вейбул и в този случай.

## ИЗВОДИ

От резултатите могат да се направят следните изводи:

1. Обемът на извадката е достатъчен за предварителни изводи и продължаване на изследването.
2. Разглежданият показател е пряко свързан с техническото състояние на дизеловите двигатели, което се потвърждава от намереното разпределение на Вейбул.
3. Освен изследването на безотказността, както и вероятността за отказ в

дадена система, това разпределение описва и реализацията на минимални стойности в една извадка.

4. Рязкото изменение на формата на разпределението в различни подизвадки на данните може да се използва за решаване на задачата за класификация на различни реални процеси.

5. Работата може да продължи с прилагане на „Вейбул-анализ“, дисперсионен и регресионен анализи за разкриване на корелацията на разглеждания показател и други фактори, оказващи влияние върху димността на дизелови ДВГ.

#### REFERENCES

Bernard Oste, Kenneth V. Turner, Jr., Charles R. Nics, Gayle W. McElrath (1996), *Engineering Statistics, The Industrial Experience*, Duxbury Press, ITP An International Thomson Publishing Company, ISBN 0-534-26538-3.

Ministry of Transport, Information Technology and Communications (2020). *Ordinance № Н-32 of 16 December 2011 for the periodic inspections to check the technical conditions of road vehicles, amended and supplemented by the State Gazette No. 38 of 08 May 2018.* (**Оригинално заглавие:** Наредба № Н-32 от 16 декември 2011 г. за периодичните прегледи за проверка на техническата изправност на пътните превозни средства, Министерство на транспорта, информационните технологии и съобщенията (обн., ДВ, бр. 104 от 27.12.2011 г., в сила от 1.01.2012 г., посл. изм. и доп. бр. 38 от 8.05.2018 г., в сила от 20.05.2018 г.) Available on 25.09.2020 at: [https://rta.government.bg/images/Image/n\\_uredba/nH32.pdf](https://rta.government.bg/images/Image/n_uredba/nH32.pdf)

Robert B. Abernethy (2004), *The New Weibull Handbook*, Fifth Edition Copyright, Published and distributed by Robert B. Abernethy, 536 Oyster Road, North Palm Beach, Florida 33408-4328 ISB,-IO 0-9653062-3-2, ISBN-13978-0-9653062-3-2.

STATGRAPHICS (2013), *Statistical Analysis System*, Revised 9/16/2013, Copyright by StatPoint Technologies, Inc.

Thomas P. Ryan (2007), *Modern Engineering Statistics*, John Wiley & Sons, Inc., ISBN 978-0-470-08187-7.