

IMPROVING MEASUREMENT ACCURACY THROUGH THE RANDOMIZATION METHOD ⁷

Assoc. Prof. Atanas Iliev, PhD

Department of ICE and AT, "Angel Kanchev" University of Ruse

Phone: 082-888-272

E-mail: ailiev@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Petar Kazakov, PhD

Trakia University, Faculty of Technics and technologies, 38 Graf Ignatiev str., 8602, Yambol, Bulgaria, E-mail: peter_yb@abv.bg

Abstract:

Of the errors made during each measurement, the most significant contribution is made by random errors. They appear arbitrarily, have an unpredictable character and significantly reduce measurement accuracy. Therefore, defining them is a paramount task. For this purpose, there are many methods based on the theory of their normal distribution. One of the main methods of "combating" random error is the method of "randomization" - conducting individual attempts on a pre-prepared plan, obtained by generating random numbers.

Keywords: measurement, random errors, measurement accuracy, method of "randomization"

JEL Codes: L10, L11

ВЪВЕДЕНИЕ

Всяко едно изследване на даден обект е свързано с определяне на числените стойности на определени величини (параметри). Това определяне се нарича измерване. Измерването е познавателен процес при който се съпоставят измерваната величина и еднородна с нея единица мярка (еталон) и се определя колко пъти се съдържа в нея.

Измерванията могат да бъдат:

1. Еднократни; 2. Многократни; 3. Непосредствени; 4. Косвени и др.

Основен момент при измерването е постигната точност. Точността е мярка за близостта между измерената и действителна стойност на величината - колкото е по-близо, толкова и точността е по-голяма.

В процеса на измерване винаги се допускат грешки.

Те се разделят на:

1. Систематични - произходът, характерът и големината са известни. Дължат се на неточност на измерителните уредби, метода на измерване и методиката на обработване на опитните данни. Могат да бъдат измерени и в следствие елиминирани от измерването;

2. Груби - в резултат на *груби* пропуски. Дължат се на невнимание на оператора, повреда на уреда, изменение на условията на опита при наличието на вибрации и удари, които нарушават нормалното състояние на измервания обект и измервателния уред. При обработка на опитните данни грубите грешки се изключват;

3. Динамични - дължат се на инерционните свойства на измерителните уреди. Поради извършването на механични, топлинни и други видове инерционни процеси изменението на измерваната величина се предава на регистриращата част на уреда

⁷ Докладът е представен на 58-та научна сесия на РУ 2019 в секция Транспорт и машинознание с оригинално заглавие на български език: ПОВИШАВАНЕ НА ТОЧНОСТТА НА ИЗМЕРВАНЕ ЧРЕЗ МЕТОДА НА РАНДОМИЗАЦИЯТА.

със закъснение. Показанието на уреда достига новата си стойност след продължително затихващо трептене на подвижните му части;

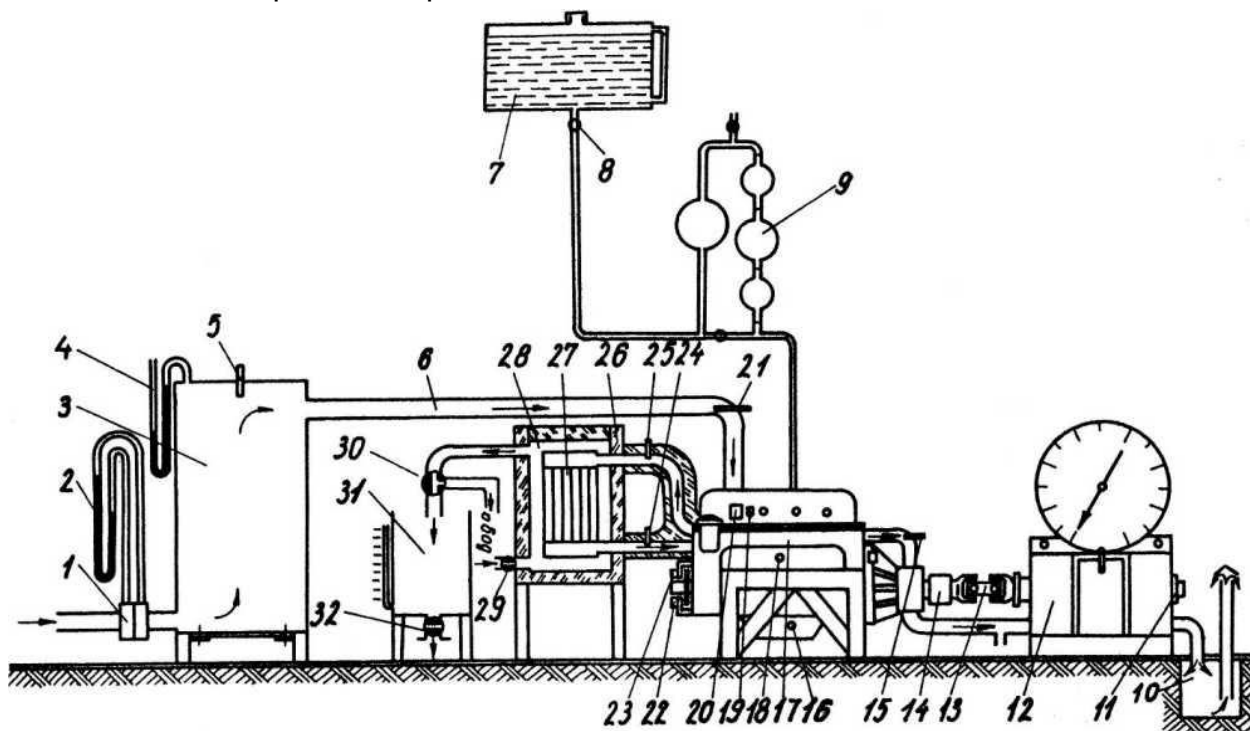
4. Случайни - не са известни нито по големина, нито по знак. Възникват случайно при измерването и не могат да бъдат отчетени предварително. Дължат се на случайни процеси, протичащи по време на измерването.

От грешките единствено *случайните* не е възможно да се прогнозира и изключат. С помощта на методите на математическата статистика е възможно тяхното влияние да се намали значително. След снемане на опитните резултати е необходимо допълнителното им обработване, с цел премахване на колебанията на стойностите на параметрите около някаква средна стойност. Това се постига с помощта на различни математически методи, като се изхожда от презумпцията, че кривите, описващи съответните процеси, са гладки (нямат точки на прекъсване).

ИЗЛОЖЕНИЕ

Изпитванията се изпълняват съгласно методите на стендовите изпитания. Те се провеждат се на специална изпитателна уредба (стенд). Основното им предимство е възможността да се разположи измервателната апаратура в защитено от външни и вътрешни въздействия място.

На фиг. 1 е показана схема на опитната уредба. Уредбата е изградена на базата на постояннотоковата електрическа спирачка *MS2812-4 12* към която е монтиран на обща рама изпитвания *ДВГ 17*. Спирачката поглъща *100 kW* мощност в режим на генератор, а отдава *87 kW* в режим на двигател. Максималната и честота на въртене е *3000 min⁻¹*. Въртящият момент се отчита по циферблатната везна, разположена на спирачката *12*. Честотата на въртене се измерва с помощта на електронен честотомер *11*. Свързването на ДВГ със спирачката се осъществява с помощта на кардана вал *13*. За охлаждане на ДВГ се използва специален охладител *27* с автоматично поддържане на зададената температура на охлаждащата течност. Измерването на разхода на гориво става с помощта на щихпробера *9* и секундомер с $\Delta t = 0,2 \text{ s}$. С помощта на нормалната мембрана *1*, ресивера *3* и диференциалния манометър *2* се измерва разходът на въздух. Ресиверът служи за гасене на пулсациите на въздуха. Токсичността на **ОГ** се измерва със съответните газоанализатори, които се присъединяват към *ДВГ* преди измерването.



Фиг. 1. Опитна уредба за изпитване на бензинови двигатели с вътрешно горене

За да се получат адекватни стойности на търсената измервана величина е необходимо да се състави правилен план на експерименталните изследвания. В него е необходимо да се решат няколко задачи:

1. Да се подберат величините и диапазоните на изменението им;
2. Да се определи точността на измервателната апаратура;
3. Да се определи броят на независимите повторения на измерванията (в зависимост от степента на надеждност и относителната грешка - табл. 1);
4. Да се определи вида на разпределение на случайната грешка;
5. Да се определят доверителните интервали на величините;
6. Да се изгладят получените дискретни стойности;
7. Да се определят аналитичните уравнения на изходните величини.

Измерваните величини се определят в зависимост от конкретната задача - зависимите величини може да бъдат N_e , G_r , G_B , q_v , M_e , и др, а независимата - n .

Преди всяко изпитване е необходимо да се определи броя на повторенията на измерваната величина (табл. 1).

Таблица 1. Необходим брой на повторенията на опитите (измерванията) [1]

Грешка	Надеждност на опита H							
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99	0,999
3,0	1	1	1	1	2	3	4	5
2,0	1	1	1	2	3	4	5	7
1,0	2	2	3	4	5	7	11	17
0,5	3	4	6	9	13	18	31	50
0,4	4	6	8	12	19	31	50	74
0,3	6	9	13	20	32	46	78	127
0,2	13	19	29	43	70	99	171	277
0,1	47	72	169	266	273	387	668	1089
0,05	183	285	431	659	1084	1540	2659	4338
0,01	4543	7090	10732	16436	27161	38416	66358	108307

На базата на многобройни измервания е установено, че при липса на доминантен фактор, разпределението на случайните грешки е по нормалния закон. Това дава възможност да се приложат различни оптимизационни методи за намаляването им. Един от основните методи за „борба“ със случайната грешка е методът на „рандомизацията“ - провеждане на отделните опити съгласно предварителен план, получен чрез генериране на случайни числа (табл.2).

Таблица 2. Метод на „рандомизацията“ при провеждане на опитите

№	n	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	n ₅
1	1400	2000	1800	2600	2000	2800
2	1600	2800	2200	3200	1600	1400
3	1800	1400	1600	2400	2800	2200
4	2000	3200	2400	1400	3200	1800
5	2200	2400	3200	2000	1800	2400
6	2400	1800	2000	3000	2200	3000
7	2600	3000	2600	1600	1400	2600
8	2800	2600	2800	2200	2600	1600
9	3000	1600	1400	2800	3000	3200
10	3200	2200	3000	1800	2400	2000

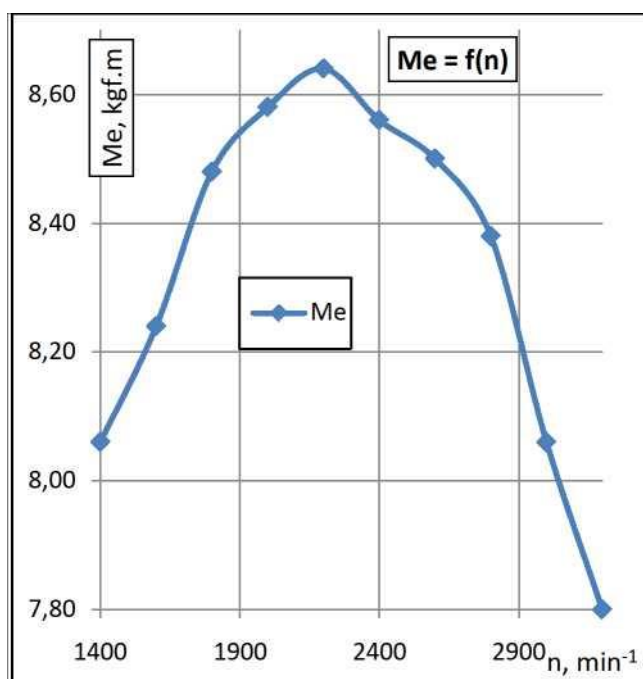
Задаващият параметър е честотата на въртене n . За всяка една от сериите ($n_1 \div n_5$) се генерира случайна поредица и на нейна база се провеждат опитите. Това гарантира, че случайната грешка ще бъде минимизирана и същевременно ще бъде

премахната и грешката от хистерезис. Недостатък на указания метод е, че е необходимо ДВГ да бъде „разходен“ на често доста отдалечени режими в съседните точки от плана на експеримента.

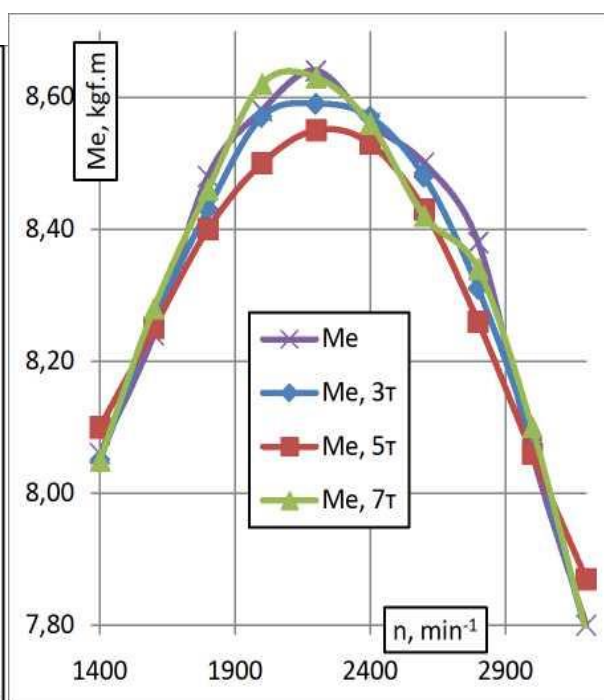
Получените резултати за честотната характеристика на бензинов ДВГ са представени в табл. 3. При определяне на производни величини (чрез математически изчисления) се допуска да се работи с една значеща цифра в повече (M_{cp} , $\bar{M}_{Me}$ и др). В окончателния резултат излишните цифри се премахват съгласно правилата за закръгляне; точността на получения резултат **не може** да бъде по-голяма от най-неточно измерените данни!

Таблица 3. Честотна характеристика на бензинов ДВГ.

№	n	Me1	Me2	Me3	Me4	Me5	M _{cp}	σMe	Me-	Me+	Заб
1	1400	8,1	8,2	7,9	8,1	8,0	8,06	0,051	7,89	8,21	
2	1600	8,3	8,2	8,2	8,3	8,2	8,24	0,024	8,17	8,31	
3	1800	8,5	8,6	8,5	8,5	8,3	8,48	0,049	8,29	8,63	
4	2000	8,6	8,6	8,7	8,5	8,5	8,58	0,037	8,47	8,69	
5	2200	8,7	8,6	8,7	8,5	8,7	8,64	0,040	8,49	8,76	
6	2400	8,6	8,4	8,5	8,6	8,7	8,56	0,051	8,39	8,71	
7	2600	8,4	8,6	8,5	8,6	8,4	8,50	0,045	8,37	8,63	
8	2800	8,3	8,4	8,4	8,4	8,4	8,38	0,020	8,29	8,44	
9	3000	8,0	8,1	8,1	8,2	7,9	8,06	0,051	7,89	8,21	
10	3200	7,8	7,7	7,9	7,7	7,9	7,80	0,045	7,67	7,93	



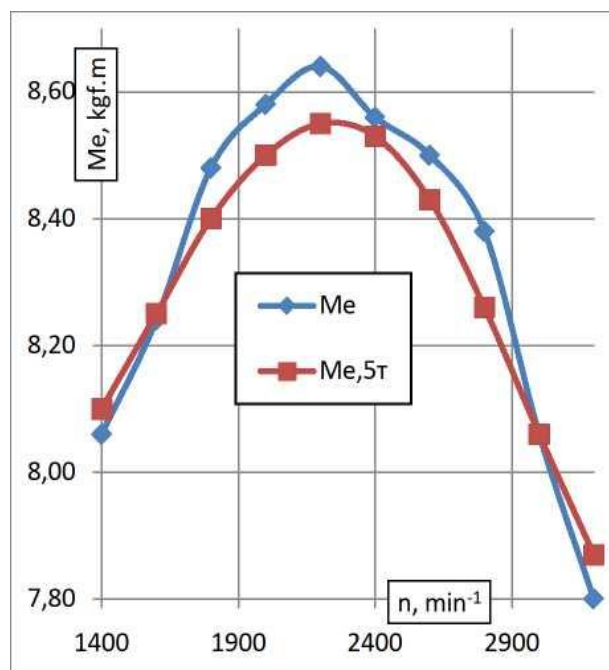
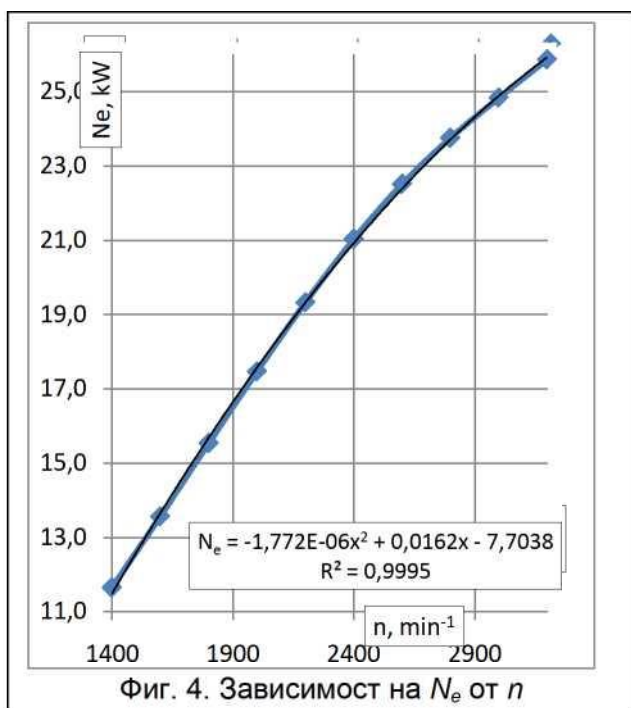
Фиг. 1. Зависимост на M_e от n



Фиг. 2. Сравнение на кривите на M_e

В табл. 3 M_{cp} е средноаритметичната стойност на момента, измерен в отделните опити; σ_{Me} е средноквадратичното отклонение на средната стойност на M_{cp} ; M_{e-} и M_{e+} са съответно долната и горната граници на съответните доверителни интервали $M_{e\pm} = M_{cp} \pm 3 \cdot \sigma_{Me}$. Вижда се, че получените стойности за момента практически попадат в доверителния интервал и с вероятност 99,7% могат да бъдат приети за истин-

ски и с тяхна помощ да се пресметнат останалите параметри на ДВГ. На фиг. 1 е показана „суровата“ (без никакво изглаждане) крива на зависимостта на M_e от n . Вижда се, че линията е доста „начупена“, на места дори и с прекъсване. Съгласно с теорията, тя би следвало да е гладка и непрекъсната (спрямо първата производна). Видът и идва да подсказва, че някои от точките, макар и получени по толкова сложен метод, не са на местата си. Коригиране на положенията им се прави с помощта на математическите методи за изглаждане на експерименталните данни - линейно по 3 и 5 и нелинейно по 7 точки. Чрез тези методи положението на всяка точка зависи и от положението на съседните и. Формулите за изглаждане са дадени в [2]. Чрез тях са получени коригираните стойности на момента M_e (табл. 4). Изглаждането на данните от експеримента е приложимо само тогава, когато не се измерват отклоненията на величината от средната и стойност. При определяне на колебанията на ДВГ на опорите, вибрациите от детонационното горене и др., изглаждането е недопустимо поради изкривяване на получените резултати. В тези и други подобни опити, се



прилагат други математически методи за повишаване на точността на измерването.

Таблица 4. Коригирани стойности на M_e чрез методите за изглаждане

№	n	M_{cp}	$M_{cp,3т}$	$M_{cp,5т}$	$M_{cp,7т}$	N_e	$N_{e,3т}$	$N_{e,5т}$	$N_{e,7т}$
1	1400	8,06	8,05	8,10	8,05	11,6	11,6	11,6	11,6
2	1600	8,24	8,26	8,25	8,28	13,5	13,6	13,6	13,6
3	1800	8,48	8,43	8,40	8,46	15,7	15,6	15,5	15,6
4	2000	8,58	8,57	8,50	8,62	17,6	17,6	17,5	17,7
5	2200	8,64	8,59	8,55	8,63	19,5	19,4	19,3	19,5
6	2400	8,56	8,57	8,53	8,56	21,1	21,1	21,0	21,1
7	2600	8,50	8,48	8,43	8,42	22,7	22,7	22,5	22,5
8	2800	8,38	8,31	8,26	8,34	24,1	23,9	23,8	24,0
9	3000	8,06	8,08	8,06	8,10	24,8	24,9	24,8	25,0
10	3200	7,80	7,79	7,87	7,79	25,6	25,6	25,9	25,6

В таблица 4 са представени и получените стойности за N_e на базата на преките измервания и получените стойности след изглаждане на кривите за M_e по съответния брой точки. За по-добро сравнение на получените резултати за M_e , всичките криви са

разположени на една и съща диаграма (фиг. 2). От фиг. 2 се вижда, че най-добро изглаждане се получава по метода на 5^{-те} точки (получената форма на кривата е най-близо до теоретичната). Ето защо, за бъдещи пресмятания ще се използва апроксимацията на M_e по указания метод. Сравнението между действителните и изгладените стойности са показани на фиг. 3. Вижда се, че кривата е гладка, без съответните начупвания и по нея може да се определя ефективната мощност на ДВГ N_e .

Чрез използване на метода на най-малките квадрати (МНК) е определено регресионното уравнение на M_e от n - $M_e=f(n)$, чрез което може да се правят междинни, не участващи в опитите, измервания:

$$M_e = -6,9413 \cdot 10^{-7} \cdot n^2 + 3,0618 \cdot 10^{-3} \cdot n + 5,154$$

$$d_{M_e} = -6,9413 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot n + 3,0618 \cdot 10^{-3} = 0 \quad (1)$$

След елементарни математически операции се установява, че (1) има максимум при $n=2205 \text{ min}^{-1}$ и той е $M_e=8,531 \text{ kgf.m}$.

След получаване на осреднените данни за измерените параметри (M_e) може да се пристъпи към пресмятане на зависимите величини (напр. N_e и др.). **Не бива никога** да се изглаждат данните от непреките измервания, преди да са изгладени резултатите от преките. Не спазването на това предписание води до големи грешки и несъпоставимост с преките измервания. Като пример за определяне на непреки измервания е показано определянето на N_e (фиг. 4). На фиг. е показана и линията на уравнението, получено по метода на МНК и описващо с практически 100% точност изменението на N_e . По така получените формули могат да се правят междинни изчисления с точност, по-добра от точността на преките измервания.

Аналогично се постъпва при определяне на останалите параметри, измервани (пресмятани) при провеждане на даденото изследване (G_e , g_e , Ge , q_v , M_e , M_m , и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на тази, макар и усложнена методика, води практически до отстраняване на случайните и от хистерезис грешки и повишава точността на измерването. Чрез метода на рандомизацията се намаляват в голяма степен случайните грешки. Математическите методи за изглаждане на данните дава възможност точките да се разполагат на действителните им места, което допълнително намалява случайните грешки и увеличава точността на измерване. Получените криви са гладки и онагледяват съответния процес. Уравненията на регресия позволяват много точно отчитане на междинни резултати, за точки, не участващи в плана на провеждания експеримент.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Веденянин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных, Колос, М., 1967.
- [2]. Дьяконов В. П. Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ. Наука, М., 1987

За контакти:

доц. д-р Атанас Илиев, , Русенски Университет, гр.Русе, ул. "Студентска" 8, пк.7017, тел: 082-888-272, e-mail: ailiev@abv.bg; ailiev@uni-ruse.bg.