

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЕТО НА МЕХАНИЧНИТЕ И ГЕОМЕТРИЧНИ ПАРАМЕТРИ ПРИ ОРАЗМЕРЯВАНЕ И КОНТРОЛ НА ЦИЛИНДРИЧНИ ВИНТОВИ ПРУЖИНИ

Илия Богомилов Щъркалев, Людмил Константинов Паскалев
Ilia_shtarkalew@abv.bg, lyudmil_paskalev@abv.bg

**ВТУ „Тодор Каблешков” София ,ул „Гео Милев” №158
1574София ,ул „Гео Милев” №158
БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи:** Цилиндрични винтови пружини; неопределеност; грешки; статична характеристика*

***Резюме:**Разнообразното приложение на този най -разпространен в практиката вид еластични елементи поставя различни изисквания при използването им в сглобени единици.*

Но те могат да бъдат отнесени към две основни групи параметри свързани с присъединителните размери и статичната им характеристика.В настоящият доклад е разгледан модел за количествена оценка на влиянието на геометричните размери върху статичната характеристика .Предложена е методика за оценка на неопределеността и точността при оразмеряване на винтови пружини.

Пружините имат сравнително малка маса и размери. При натоварване акумулират голямо количество енергия, което при нужда отдават при висок *к.п.д.*

Възприемат енергията на удари, служат за виброизолатори, за измервателни уреди и пр.,т.е. това са машинни елементи с много широко приложение.

В много случаи обаче пружините се използват като много отговорни машинни елементи, за които се изисква висока точност на пресмятане и изработка. Грешките в това отношение могат да доведат до сериозни повреди, да се наруши точността на измервателните уреди и т.н.

Пружините, които работят на натиск (фиг.1), се навиват с хлабина между навивките – *a* (фиг.2), с което се осигурява възможност за деформация.

При осово натоварване пружината се деформира (на опън или натиск) и дължината ѝ се изменя. При натиска промяната на дължината на пружината е

$$(1) s_8 = L_0 - L_8 \leq 0, \text{където}$$

S_8 - Деформация на пружината работеща на натиск;

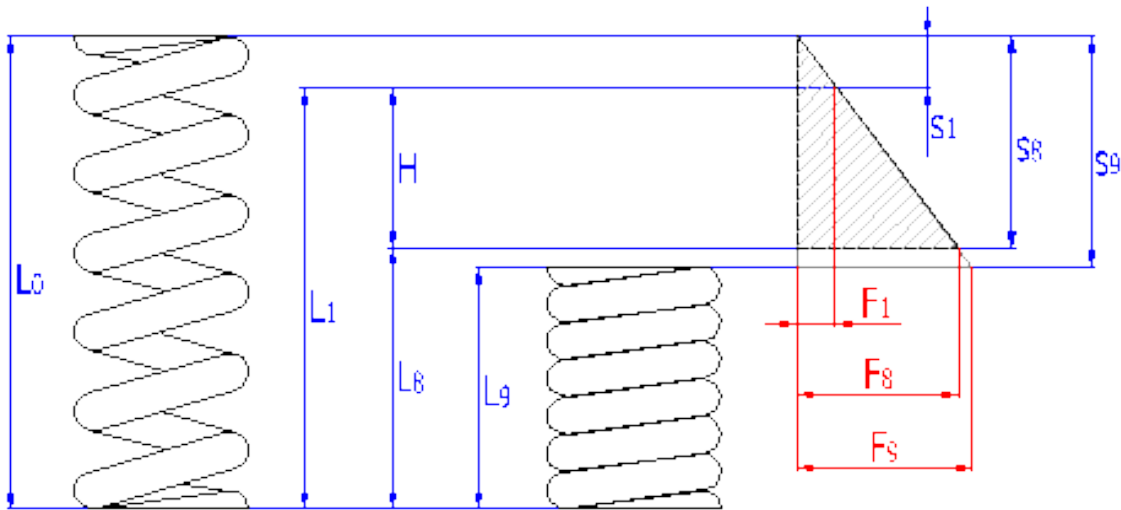
L_0 - Дължина на не натоварена пружина;

L_8 –Дължина на пружината при максимално натоварване;

Опитно е установено, че при цилиндрични винтови пружини зависимостта между изменението на силата *F* , която действа на пружината и съответната ѝ деформация *s*, е линейна, т.е.

(2) $F = k \cdot s$, където

k - еластичната константа на пружината, $\frac{N}{m}$



Фиг..1 Статична характеристика на цилиндрични винтова пружина

Зависимостта (2) се нарича статична характеристика на пружината. Тя представлява права линия (фиг.1), която минава през началото на координатната система .

Но тази характеристика е теоретична и се приема като основа при проектиране на сглобени единици. Много фактори,от случаен характер ,влияят върху тези еластични елементи ,както при изработването,така и при използването им.Пример за това са различните статични характеристики на партида еднакви пружини (фиг.).Затова е необходимо определяне на гранични стойности на основните функционални параметри,формиращи статичната характеристика на пружината.Това става чрез комплекс от показатели регламентиращи геометричната точност и контрол на отклоненията в механичните свойства на материалите ,от които се изработват пружините.На различни- те етапи от производството на пружините се избират подходящи метрологични схеми и средства за контрол.

През последните години съгласно ISO 17025 се изисква измерванията да бъдат представени със съответната неопределеност (съгласно предписанията на ISO GUM 1995) [1]. като мярка за метрологичното качество на аналитичните резултати (измервания). Неопределеността е дефинирана като “параметър, асоцииран към резултата от измерване, характеризиращ дисперсията на стойностите, които могат да бъдат основателно приписани на измерваната величина”. Този параметър се представя като гранични стойности на интервал, (в плюс, минус) до приписаната стойност на величината:

Стойност \pm неопределеност (мерни единици)

Важно е да бъде направено разграничение между понятията грешка и неопределеност. Грешката се дефинира като разликата между единично измерване и истинската стойност на измерваната величина. Следователно грешката представлява единична стойност. По принцип стойността на известна систематична грешка може да се използва за корекция на резултата. Не трябва да се забравя обаче, че грешката е идеализирано понятие и не може да се определи с абсолютна точност, тъй като истинската стойност на величината е трудна за възпроизвеждане или материализиране . От своя страна неопределеността има смисъл на интервал и не може да бъде използвана за корекция на резултата.

Обикновено определянето на стойността на дадена величина y се основава на функционална зависимост между тази величина и определен набор от експериментално определени или предварително известни фактори (x_i), наречени входящи величини:

$$(3) y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Според концепцията за неопределеността всеки един от факторите x_i ще има свой принос във формирането на общата неопределеност на величината y . Прието е тези съставни компоненти – $u(x_i)$ на общата неопределеност $U(y)$, да се обозначават като стандартни (средноквадратични) неопределености, които по своята същност имат смисъла на стандартни отклонения. Следователно за да бъде оценена общата неопределеност при измерването на величината y , първо трябва да бъдат определени стандартните неопределености на входящите величини x_i .

Стандартната неопределеност от своя страна се разделя на два вида: **Тип А** и **Тип В**.

Тип А се оценява непосредствено чрез статистически анализ на серии от наблюдения при условия на повторимост и нейната количествена стойност представлява стандартното отклонение на експериментално определяните величини x_i .

Част от променливите в уравнение (3) могат да бъдат фактори с предварително зададена стойност и неопределеност (определена при предишни експерименти, чрез литературни данни, информация от производител). В този случай стандартна неопределеност се означава като **Тип В** и тя се оценява чрез способности, различни от статистическия анализ. Важно е да бъде посочено, че когато неопределеността Тип В не е представена под формата на стандартно отклонение, тя трябва да бъде конвертирана в такова значение.

Следващата стъпка при определянето на общата неопределеност е изчисляването на т.нар. **комбинирана неопределеност** на измерваната величина y – $u_c(y)$. Зависимостта между комбинираната неопределеност $u_c(y)$ и стандартните неопределености $u(x_i)$ се определя от закона за разпространение на грешките и има следния общ вид:

$$(4) u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 \cdot u(x_i)^2 + \sum_{i,k=1}^n c_i \cdot c_k \cdot u(x_i) \cdot u(x_k) \cdot r_{ik}}$$

$u(x_i), u(x_k)$ – стандартна неопределеност на входящите величини x_i и x_k ;

c_i – коефициент на чувствителност, който отразява каква е промяната в стойността на величината y при промяна на x_i ($c_i = \frac{\partial y}{\partial x_i}$)

r_{ik} – коефициент на корелация между входящите величини x_i и x_k , като $i \neq k$

Втората сума в уравнението отразява случая, когато между някои от входящите фактори x съществува корелационна зависимост. При условие, че всички параметри x_i са независими помежду си ($r_{ik} = 0$), то уравнението придобива следния опростен вид:

$$(5) u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 \cdot u(x_i)^2}$$

Когато функцията съдържа само операции на умножение или деление, както моделното

уравнение (8) на цилиндрични винтови пружини работещи на натиск,комбинираната неопределеност се пресмята от зависимостта:

$$(6) \frac{u_c}{y} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{u(x_i)}{x_i} \right)^2}$$

Последната стъпка в анализа на неопределеността се състои в умножаване на $u_c(y)$ с определен фактор на покриване k , при което се получава т.нар. **разширена неопределеност** – $U(y)$

$$(7) (U(y) = k \cdot u_c(y)).$$

$U(y)$ представлява полуинтервал, който се представя с аналитичния резултат. Изборът на фактор на покриване k е определящ за доверителната вероятност, с която истинската стойност на измерваната величина се съдържа в полученият интервал.

Най-често измерваната величина y се разглежда като нормално разпределена, при което:

на $k = 2$ съответства доверителна вероятност $-\alpha = 95\%$

на $k = 3$ съответства доверителна вероятност $-\alpha = 99.7\%$

Крайният аналитичен резултат се представя:

“резултат” = $(y \pm U(y))$ (единици), като изрично се посочва стойността на k

Прието е анализът и оценката на неопределеността да се наричат “бюджет” на неопределеността. При създаването на “бюджет” на неопределеността могат да се разграничат следните стъпки:

1. Дефиниране на измерваната величина– конкретната величина, която е обект на измерване.

2. Описание на моделното уравнение – представяне на количествената зависимост между измерваната величина и факторите, от които зависи: $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Входните величини (x_i) могат да бъдат параметри, чиито стойности и неопределеност са директно определени в конкретното измерване (Тип А, статистически анализ на серия от наблюдения) или (Тип В) фактори привнесени към измерването от външни източници.

Където е възможно в математичния модел трябва да бъдат включени корекции за известни систематични грешки.

3. Идентифициране на възможните източници на неопределеност – създаване на подробен списък с възможните източници, внасящи неопределеност в крайния резултат. Вероятните източници на неопределеност могат да се представят в графични структури (причинно-следствени диаграми), блок-схеми или друг начин ,с който да се осигури изчерпателност при изброяване на източниците и се избегнат дублирането им.

Моделното уравнение на статичната характеристика на цилиндрична винтова пружина е:

$$(8) F = \frac{G \cdot d^4 \cdot s}{8 \cdot D^3 \cdot n}, N, \text{ където:}$$

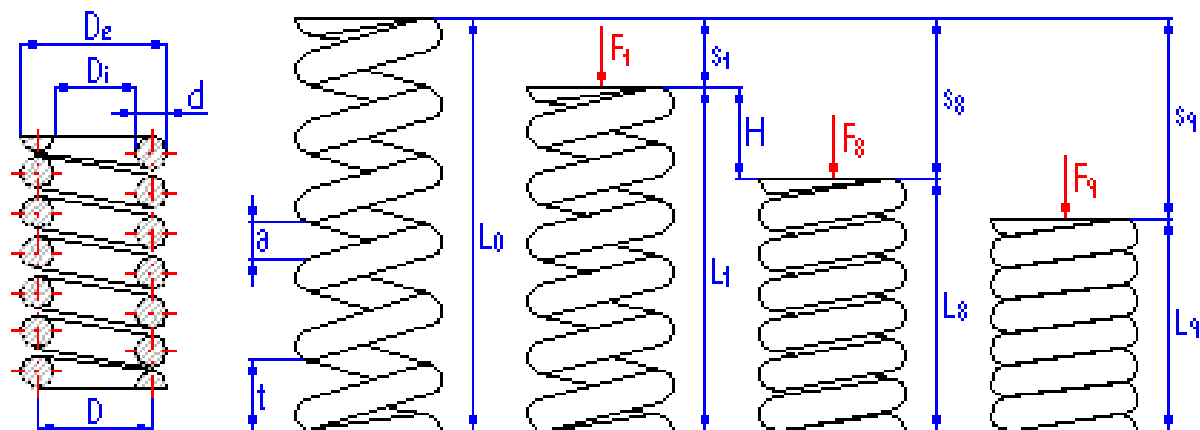
G – Модул на ъглови деформации, Pa;

D -Среден диаметър на пружината, m; (Фиг.2)

d -Диаметър на тела на пружината, m; (Фиг.2)

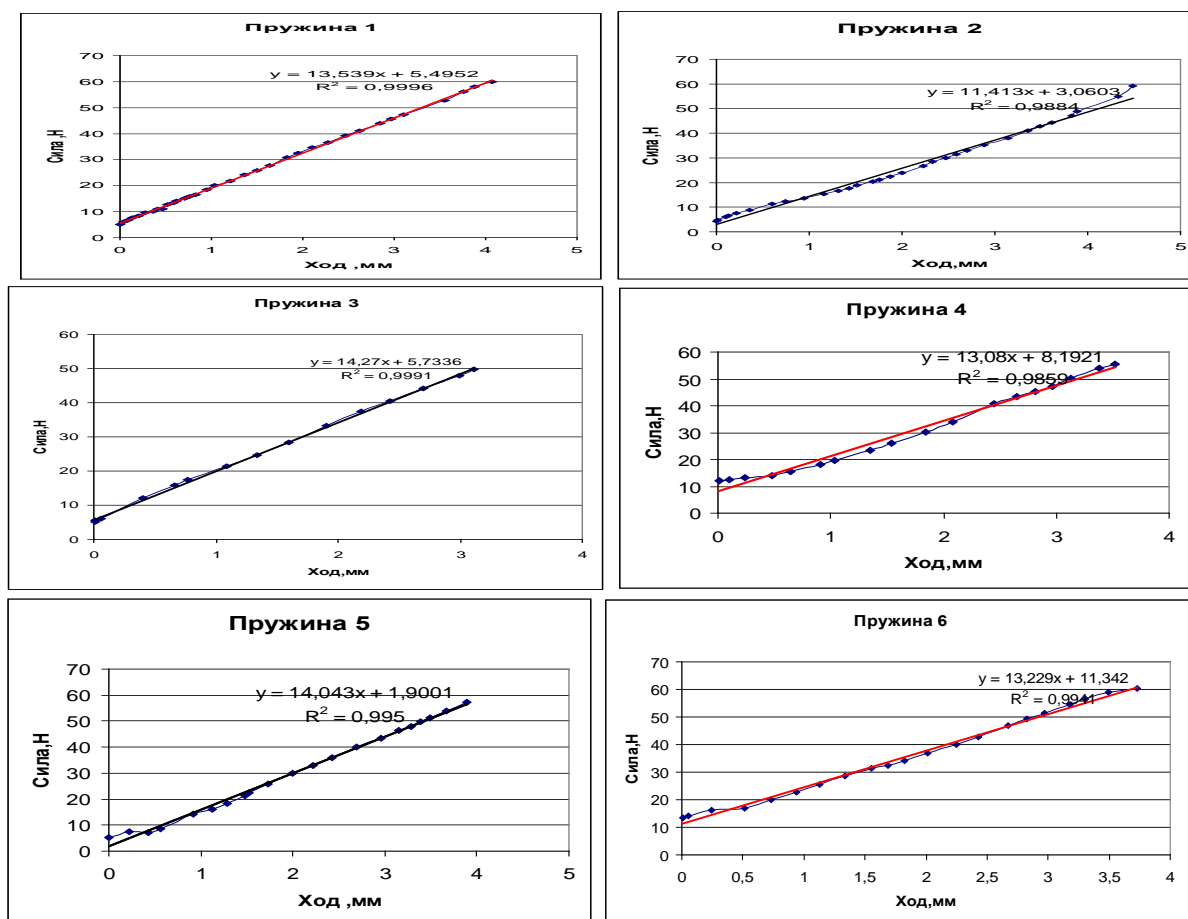
n -Брой на навивките на пружината; (Фиг.2)

t -Стъпка на пружината, m (Фиг.2)



Фиг.2 Параметри на цилиндрични винтова пружина

Чрез възможностите на стенд в лабораторията по „Машинни елементи” на ВТУ „Тодор Каблешков”, оборудван с модул за събиране и обработка на данни от измерване на различни физикомеханични величини „NOVA 5000”, бяха получени следните статични характеристики на цилиндрични винтови пружини.



Фиг.3 Експериментални статични характеристики на цилиндрични винтови пружини
Номиналните стойности на параметрите на измерваните пружини са:

Таблица 1 Параметри на измерваните пружини.

Входни величини	Номинални стойности
d- Диаметър на тела на пружината	2 mm
D - Среден диаметър на пружината	10 mm
L ₀ - Дължина на не натоварена пружина	50 mm
n- Брой на навивките на пружина	10

Таблица 2 Резултати от измерването на винтовите пружини.

Пружина №	Уравнение на статичната характеристика $F = k \cdot s$	$k_i \left(\frac{N}{mm} \right)$	Коефициент на корелация R^2	$\bar{k} - k_i, mm$	Проверка за груби грешки $ \bar{k} - k_i \geq t_{\beta} \cdot s(k)$
1	$F=13,539 \cdot s + 5.495$	13,539	0.9996	-0,277	$\leq 4,11$
2	$F=11,413 \cdot s + 3.0603$	11,413	0.9884	1,849	$\leq 4,11$
3	$F=14.27 \cdot s + 5.734$	14.27	0.9991	-1,008	$\leq 4,11$
4	$F=13,08 \cdot s + 8.192$	13,08	0.9858	0,182	$\leq 4,11$
5	$F=14.043 \cdot s + 1.9$	14.043	0.995	-0,781	$\leq 4,11$
6	$F=13,229 \cdot s + 11.342$	13,229	0.9941	0,033	$\leq 4,11$

$$\bar{k} = 13,262 \pm 1,837 \frac{N}{mm}$$

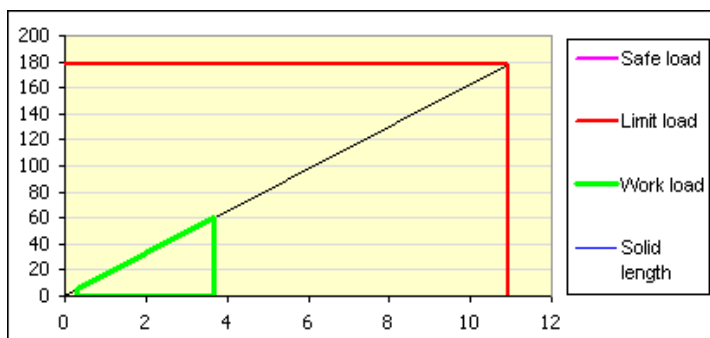
$$s(k)_n = 0,927 \frac{N}{mm} \quad s(k)_{n-1} = 1.015 \frac{N}{mm} \quad t_{\beta} = 4,434 \text{ за } (\beta = 0,02)$$

(9) $|\bar{k} - k_i| \geq t_{\beta} \cdot s(k)$ Неравенството е изпълнено за всяка действителна стойност на k -еластичната константа на пружината и означава ,че нито един от резултатите на измерването не е груба грешка. [2]

При известни стойности на параметрите на пружината и пресметната стандартна неопределеност на еластичната константа може да се определи материала ,от който е изработена пружината или негов аналог. Това може да стане чрез ползването на различни бази данни за механични свойства на материали използвани при производството на цилиндрични винтови пружини.

Удобен за ползване в случая е софтуерен продукт “MITCalc”, чрез които е получена теоретичната характеристика на цилиндрична винтова пружина (фиг.4).

Еластичната константа на пружината е $k=13,56 \text{ N/mm}$ за стомана марка **1.4310 EN 10 270-3**,определена от базата данни ,с които разполага модула за пресмятане на пружини.



Фиг.4 Теоретичната характеристика на цилиндрична винтова пружина. [3]

При измерването на силата на натиск е използван силов сензор- DT 272 на фирмата $i = 0.01N$ “Верние” със стойност на деление $i = 0.01N$ и граници на измерване $\pm 50N$. Стандартната неопределеността при измерване на този параметър е от Тип В :

$$(10) u(F) = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{6}} = 0.00816N$$

По-важно е да бъде определена комбинираната неопределеност на силата ,като основен параметър в статичната характеристика на цилиндрични винтови пружини.

Резултатите са представени в **Таблица 3**.

Таблица 3 Обобщение на компонентите на стандартната неопределеност

Компонента на стандартната неопределеност	Източник на неопределеност	Стойност на стандартната неопределеност	$(c_i = \frac{\partial y}{\partial x_i})$	$u(F) = c_i \cdot u(x_i)$	Степени на свобода
$u(d)$	Диаметър на тела на пружината	Тип А $u(d)=0,00125mm$	$\frac{\partial F}{\partial d} = \frac{4 \cdot d^3 \cdot G \cdot s}{8 \cdot D^3 \cdot n}$	$36,5 \cdot 10^{-6}m$	53
$u(D)$	Среден диаметър на пружината	Тип А $u(D)=0,016mm$	$\frac{\partial F}{\partial D} = -\frac{3 \cdot G \cdot d^4 \cdot s}{8 \cdot D^3 \cdot n}$	$-0.43200 m$	35
$u(G)$	Модул на ъглови деформации	Тип В $u(G)=577MPa$	$\frac{\partial F}{\partial G} = \frac{d^4 \cdot s}{8 \cdot D^3 \cdot n}$	$1.154 \cdot 10^{-7}MPa$	8500
$u(n)$	Брой на навивките	Тип В $u(n)=0,666броя$	$\frac{\partial F}{\partial n} = -\frac{G \cdot d^4 \cdot s}{8 \cdot D^3 \cdot n^2}$	-0.972 броя	11
$u(t)$	Коефициент на температурно разширение на материала	Тип В $u(t)=0,013mm$ $\alpha = 11,7 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$		$0,013 \cdot 10^{-3} m$	4
$u(s)$	Деформация	Тип А $u(s)=0,005mm$	$\frac{\partial F}{\partial s} = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n}$	$0.073 m$	119
$u(\kappa)$	Повторяемост на еластичната константа на пружината	Тип А $u(\kappa)=0,378N/mm$		$378 \cdot 10^{-6} N/m$	5

Комбинирана неопределеност на измерваната величина неопределеност на силата е

$$(11) u(F) = c_i \cdot u(x_i) = F \pm 1.066 N$$

Изводи:

Разгледания в материала модел позволява да бъдат решени различни конструктивни и метрологични задачи с използването на цилиндрични винтови пружини.

Литература:

- [1.] „Ръководство за изразяване на неопределеността на измерванията“ BIPM et al, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), 2nd ed., International Organization for Standardization, Genève, 1995 (GUM) .
- [2.] Взаимозаменяемост и технические измерения в машиностроении. Коллектив авторов. Москва Машиностроение 1972
- [3.] <http://www.mitcalc.com/index.htm>

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE MECHANICAL AND GEOMETRIC PARAMETERS FOR MEASURING AND CONTROL OF CYLLINDRICAL COIL SPRINGS

Iliya Bogomilov Shtarkalev, Lyudmil Konstantinov Paskalev
Iliya_shtarkalev@abv.bg, lyudmil_paskalev@abv.bg

*Todor Kableshkov University of Transport,
158 Geo Milev Street, Sofia,
BULGARIA*

Key words: *Helical cylindrical compression spring, uncertainty, errors, statistical characteristics*

Abstract: *The various applications of these elastic elements widely used in practice introduce different requirements for their usage in assembled modules. They can be classified in two principal subsets of parameters related to the connection dimensions and the static characteristics. This paper examines a model for quantitative evaluation of the influence of the geometric dimensions on the static characteristics. A method for evaluation of the uncertainty and precision of measurment of the coil spring dimensions is proposed.*