

TRANSFORMACE CITLIVOSTI EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

SENSIBILITY TRANSFORMATION OF EXPERIMENTAL MEASUREMENT

Karel VÍTEK¹

Abstrakt

Při experimentální analýze tuhosti a napjatosti může být citlivost pro měření nízká a měřené signály mohou být slabé, proto nemusí být výsledky měření dostatečně přesné. V některých případech je možno původní konstrukci transformovat redukcí prvků uložení na mnohem citlivější systém a zlepšit tak podmínky experimentu. Experiment můžeme realizovat v příznivějších podmínkách a při vyhodnocení pak využít matematickou transformaci měření vzhledem k objektivnímu stavu. V některých případech transformace citlivosti konstrukce umožňuje měřící experiment na málo citlivých objektech vůbec realizovat a tuto metodiku zvýšení citlivosti experimentu je možno aplikovat též v případech experimentů, kdy nemáme k dispozici nebo nemůžeme použít dostatečně velké zatížení konstrukce.

Klíčová slova: tuhost, citlivost experimentu, transformace experimentu.

Abstract

Experimental assessment of rigidity and state of stress may be inaccurate, because measuring sensibility is insufficient. There is describe in this document of the mathematical and physical transformation of the measure structure to an equivalent sensitiver structure. The better conditions of sensitiver transformation structure make possible realization of the experiments and then transfer results to the original structure by the mathematical theory of this transformation.

Keywords: rigidity, sensitivity of experiment, transformation of experiment, rigidity.

ÚVOD

V praxi se setkáváme s experimentálním ověřováním tuhosti a napjatosti konstrukcí, jejichž citlivost pro měření je nízká a měřené signály mohou být slabé, a proto také například i nedostatečně přesné. V některých případech je možno původní konstrukci transformovat redukcí prvků uložení na mnohem citlivější systém a zlepšit tak podmínky experimentu. V [1] jsme uvedli teorii transformace experimentálního měření poddajností. Původní idea má ovšem obecnější platnost, a proto ji zde formulujeme pro širší využití v experimentu.

PRINCIP TRANSFORMACE

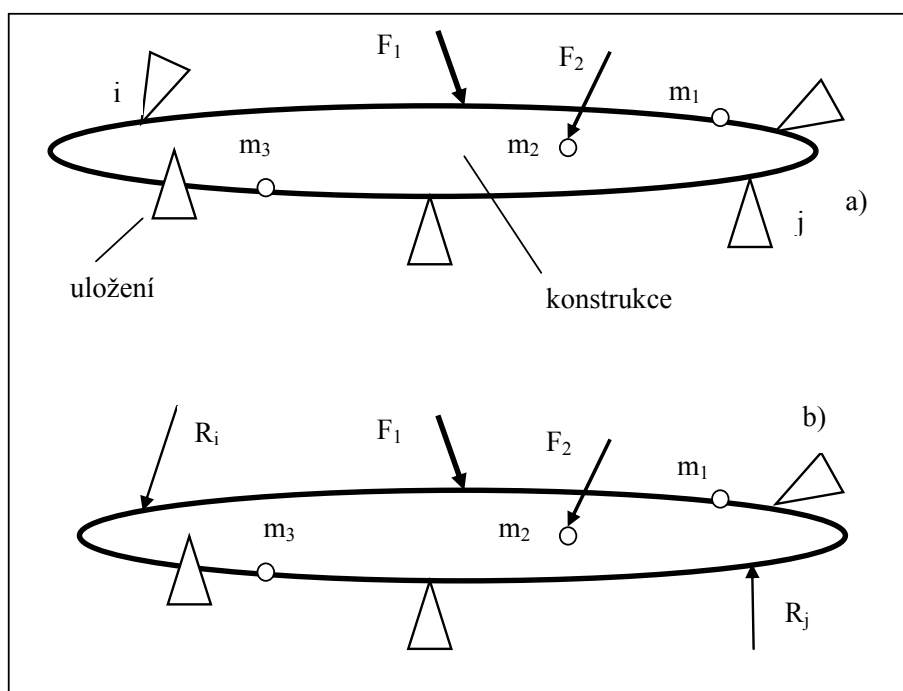
V případě modelu měření lineárního systému – viz schéma konstrukce z obr.5a lze vektor měřených hodnot \mathbf{m} vyjádřit pomocí matice citlivosti \mathbf{C} a zatěžujícího silového vektoru \mathbf{F} .

$$\mathbf{m} = \mathbf{C} \cdot \mathbf{F} . \quad (1)$$

¹ Ing. Karel VÍTEK, CSc. ÚBaM, FSj, ČVUT v Praze Karel.Vitek@fs.cvut.cz
Lektoroval: prof. Ing. Linus MICHAELI, DrSc., FEI TU v Košiciach, linus.michaeli@tuke.sk

Transformujeme-li tuto původní konstrukci uvolněním uložení například v místech i, j na konstrukci poddajnější z obr.1b, změní se citlivosti, respektive hodnoty měření v měřených bodech. Uvažujeme-li současně v uvolněných podpěrách reakce \mathbf{R} , kterými můžeme formálně rozšířit zatěžující silový vektor $\bar{\mathbf{F}} = \mathbf{F} \cup \mathbf{R}$, pak konstrukce uvolněná bude k původní konstrukci namáháním ekvivalentní. Měřené hodnoty \mathbf{m} původní konstrukce lze u transformované konstrukce rozšířit na $\bar{\mathbf{m}}$ o měřené posuvy \mathbf{d} ve směru uvažovaných reakcí a rozšířit též matici citlivosti původního měření na $\bar{\mathbf{C}}$ jednak o sloupce citlivosti náležící reakcím a dále o řádky pro měřené posuvy ve směru uvolněných reakcí podle schéma

$$\bar{\mathbf{m}} = \bar{\mathbf{C}} \cdot \bar{\mathbf{F}} \approx \begin{bmatrix} \mathbf{m} \\ \mathbf{d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{mF} & \mathbf{C}_{mR} \\ \mathbf{C}_{dF} & \mathbf{C}_{dR} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{F} \\ \mathbf{R} \end{bmatrix}. \quad (2)$$



Obr.1 Zvýšení citlivosti měřené konstrukce a) - uvolněním na konstrukci b)

Subvektor \mathbf{m} z rovnice (2) je pak shodný s původním vektorem měření rovnice (1), ovšem submatice \mathbf{C}_{mF} z rovnice (2) s maticí \mathbf{C} z rovnice (1) mají pouze shodné dimenze, hodnoty prvků se liší. V principu je možné původní konstrukci takto uvolňovat až do úrovně staticky určitého systému, aby byla uvolněná konstrukce stále dostatečně uložena. Spodní část soustavy lineárních rovnic (2), s levou stranou \mathbf{d} lze pro dané zatížení \mathbf{F} (a daný součin $\mathbf{C}_{dF} \cdot \mathbf{F}$) upravit na ekvivalentní tvar

$$\mathbf{C}_{dR} \cdot \mathbf{R} = \mathbf{d} - \mathbf{C}_{dF} \cdot \mathbf{F}. \quad (3)$$

Jestliže jsou uvolněná uložení lineárně pružná s tuhostmi K_i ve směru uvolněných reakcí, lze těmito tuhostmi a uvažovanými reakcemi za odpovídající posuvy \mathbf{d} do rovnice (3) dosadit vztahy $d_i = R_i/K_i$. Pak lze v rovnici (4) z vektoru posuvů \mathbf{d} (za který je dosazeno) vytknout vektor reakcí a současně přičíst na diagonále k prvkům matice \mathbf{C}_{dR} hodnoty $1/K_i$ a vypočítat ze soustavy lineárních rovnic reakce \mathbf{R}

$$\mathbf{C}_{dF} \cdot \mathbf{F} = [-\mathbf{C}_{dR} + 1/K] \cdot \mathbf{R}. \quad (4)$$

V případech, kdy některé tyto posuvy d_i jsou dané například vymezenou výrobní vůlí, pak se tyto hodnoty posuvů odečtou od příslušných řádků podle rovnice (5) a jim odpovídající diagonální prvky matice \mathbf{C}_{dR} se proto již před výpočtem reakcí neupravují

$$\mathbf{C}_{dF} \cdot \mathbf{F} - \mathbf{d} = -\mathbf{C}_{dR} \cdot \mathbf{R}. \quad (5)$$

Obvyklý může být ve směru posuvu d_i i případ kombinace dané hodnoty vymezené vůle s lineárně pružným uložením. Pak lze v rovnici (3) užít superpozice obou případům (4,5), nejprve od příslušného řádku odečíst konkrétní vůli (absolutní člen) a pak aplikovat postup s lineárně pružným uložením a vypočítat reakce \mathbf{R} .

Lze-li uvolněná uložení považovat za absolutně tuhá s nulovým vektorem posuvů \mathbf{d} , lze určit reakce \mathbf{R} bez předchozích úprav rovnice (3).

Rovnice (2) v horní části schématu vyjádřená vztahem (4) lze při známých reakcích \mathbf{R} považovat za ekvivalentní soustavu k původní rovnici měření (1). Uvedeným postupem je tedy původní měření \mathbf{m} konstrukce méně citlivé transformováno na měření konstrukce citlivější podle vztahu

$$\mathbf{m} = \mathbf{C}_{mF} \cdot \mathbf{F} - \mathbf{C}_{dR} \cdot \mathbf{R}. \quad (6)$$

Pro realizaci transformace měření je třeba navíc vůči původnímu měření určit jednak citlivosti, respektive poddajnosti pro posuvy ve směru reakcí $\mathbf{C}_{dF}, \mathbf{C}_{dR}$ a podobně citlivosti měřených veličin od reakcí \mathbf{C}_{mR} a dále je nutno znát nebo změřit vůle ve směru posuvů \mathbf{d} (ve směru reakcí \mathbf{R}).

ZÁVĚR

Vůle ve směru reakcí v tomto matematickém modelu transformace tvoří části posuvů \mathbf{d} , respektive jsou montáží všech uložení konstrukce zcela vymezeny. V případech, kdy by vůle v uložení nebyly vymezeny jejich montáží, nejednalo by se již o lineární systém a matematické schéma této transformace by bylo využitelné například po krocích, které by byly pak také funkcí souboru těchto vůlí v uložení.

Původní měření je uvedenou transformací sice rozšířeno, ale v některých případech transformace citlivosti konstrukce umožňuje měřící experiment na málo citlivých objektech vůbec realizovat. Tuto metodiku zvýšení citlivosti experimentu je možno aplikovat též v případech experimentů, kdy nemáme k dispozici nebo nemůžeme použít dostatečně velké zatížení F konstrukce. Experiment můžeme realizovat s dostupným experimentálním zatížením F , změřit citlivosti na uvolněné citlivější konstrukci a při vyhodnocení pak využít transformaci měření vzhledem k objektivnímu zatížení F .

Tento výzkum podporuje Výzkumné centrum spalovacích motorů a automobilů Josefa Božka II, 1M6840770002 MSMT.

LITERATURA

- [1.] VÍTEK, K.: *Zlepšení podmínek experimentu*. In: ACTA POLYTECHNICA, ČVUT v Praze, 13 (II/5), 1991, s. 100-105.