E X P E R I M E N T Á L N Í O V Ě Ř O V Á N Í Ú N A V O V É Ž I V O T N O S T I

Ing. Miloš Vlk, CSc., Ing. Ivo Hepnárek
VŽSKG, k. p., VÚSM - Ústav aplikované mechaniky Brno

Abstract
Příspěvek uvádí způsob analýzy provozního zatížení (odezvy) třídícími metodami a na ni navazující metody simulace půlkmity užívané ve VÚSM - ÚAM Brno při laboratorním ověřování životnosti s využitím programového systému ANPRES.

1. Úvod

U cyklicky zatěžovaných strojů a zařízení je při jejich provozu vzhledem k charakteru zatížení většinou rozhodující mezní stav únavového porušení. Zvlášť významné postavení zde zaujímá ověřování životnosti (a to vzhledem k řadě výhod především laboratorní), jehož důležitost neustále vzrůstá. Při této činnosti dochází k úzké součinnosti (vyúsťující až v integrální spojení) její teoretické a experimentální složky.

2. Volba metody simulace

V dalším se omezíme na případy simulace zatížení a odezvy - avšak pouze pro konstantní frekvenční přenos (proměnný frekvenční přenos - ať již u lineárních nebo nelineárních systémů - vyžaduje specifický přístup). V daném konkrétním případě jsou při volbě metody simulace určující použité metody registrace a analýzy signálu zatížení nebo odezvy (obr. 1). Požadavek "věrnosti" simulovaného a provozního procesu je potom podle zvolené metody plněn větší či menší měrou. Z teoretického hlediska je nejvýstižnější metoda, kdy simulovaný proces má všechny statistické charakteristiky stejné jako provozní proces; to je však v obecném případě úloha značně komplikovaná.

Vzhledem k tomu, že převážná většina provozních analyzátorů (např. Hottinger, MTS aj.) pracuje na principu třídících metod (bez uvažování vlivu frekvence), ukážeme v dalším možnost využití těchto údajů pro specifikaci únavové zkoušky.

3. Analýza třídícími metodami

Na základě provedeného rozboru rozsáhlé skupiny třídících metod [2] je možno konstatovat, že pro potřeby soudobých únavových zkoušek mají pro nás význam pouze dvě, které v našem ústavu používáme a to: a) metoda četnosti následných lokálních extrémů, b) metoda stékání deště.

ad a) V názvu této metody je charakterizována její podstata - zatřiďování jednotlivých půlkmitů do korelační tabulky podle následných lokálních extrémů - počátečních a koncových bodů půlkmitů. (Půlkmitem tedy budeme v dalším rozumět soubor spojitě se měnících hodnot vyšetřované veličiny mezi dvěma v čase po sobě následujícími lokálními extrémy). Jiné její názvy: metoda četnosti pozitivních a negativních špiček, metoda korelační tabulky. Z této - do jisté míry univerzální tabulky - pak je možno odvodit četnosti charakterizované i jinými kritérii. Pro názornější prezentaci výsledků analýzy je vhodnější korelační tabulka uvádějící velikosti půlkmitů a jejich středních hodnot.

Korelační tabulka následných lokálních extrémů v sobě slučuje korelační tabulku sestupných a vzestupných půlkmitů. Je proto též výchozím podkladem pro určení pravděpodobnosti přechodů z lokálního maxima na lokální minimum a naopak (tento typ přechodů se též nazývá přechodem z horní na dolní obálku a naopak). Matice pravděpodobnosti přechodu je obecně čtvercová, řádu q-1 (kde q je počet tříd); pravděpodobnost přechodu z maxima na minimum je $p_{ij} = n_{ij} / \sum_{k=i+1}^{q} n_{ik}$, a obdobně pravděpodobnost přechodu z minima na maximum $p_{ij} = n_{ij} / \sum_{k=1}^{i-1} n_{ik}$.

ad b) Tato metoda patří k těm nemnohým, které nejsou spekulativní, ale mají fyzikální zdůvodnění. Odpadá u ní nevýhoda předchozí metody související se zápočty velkých půlkmitů přerušených malým zakmitnutím. Používáme dvouparametrické varianty s využitím výhodného algoritmu, který navrhli Downing a Socie [3] . Umožňuje analýzu v reálném čase bez jakékoliv doplňující podmínky (jako např. začínat nejmenším lokálním minimem). Analýzou dostáváme četnosti výskytu cyklů (tj. uzavřených hysterezních smyček) charakterizovaných svými rozkmity a středními hodnotami, které vyplňují trojúhelníkovou matici řádu q-1.

4. Simulace jednotlivými půlkmity

Pro využití korelačních tabulek se jako nejjednodušší nabízí simulace bloky, náhodný charakter procesu však lépe vystihuje simulace půlkmity.

4.1 Reprodukce korelační tabulky následných lokálních extrémů

Dáváme přednost variantě, kdy sled lokálních extrémů je určován s využitím zákonitostí markovského řetězce a nikoliv čistě náhodně (bez vazby). Velmi zjednodušeně je postup takový, že z počátečního extrému ležícího v i-té třídě předchozího kroku k-1 postoupíme na nový extrém kroku k tak, že vygenerujeme náhodné číslo $_k$ s rovnoměrným rozdělením (0,1). S jeho pomocí pak určíme v řádku i matici přechodů podle pravděpodobnosti výskytu nový extrém i+1. Tento postup se dále analogicky opakuje po celou dobu vytváření nového procesu [1] , [5] . V průběhu aplikace jednotlivých půlkmitů tedy není nutno zmenšovat odpovídající prvky korelační tabulky následných lokálních extrémů. Takovýto algoritmus je pak rychlejší a jednodušší.

4.2 Reprodukce korelační tabulky z metody stékání deště

Podstatou této simulační metody je určení takové posloupnosti půlkmitů (lokálních extrémů), které vytvoří stejné uzavřené hysterezní smyčky (cykly) jako byly v zadané korelační tabulce. K její realizace jsme navrhli následující zásady:

- z trojúhelníkové korelační tabulky cyklů vytvoříme překlopením kolem hlavní úhlopříčky čtvercovou korelační tabulku půlcyklů (odpovídajících tedy jednotlivým větvím hysterezních smyček),
- prvý půlkmit zvolíme jako vzestupný; jeho počáteční extrém leží v nejníže ještě obsazené třídě,
- koncový extrém každého vzestupného půlkmitu leží v té nejblíže výše obsazené třídě, z níž ještě vychází sestupný půlkmit; tím je též určen počáteční extrém sestupného půlkmitu,
- obdobně koncový extrém každého sestupného půlkmitu leží v té nejblíže níže obsazené třídě, z níž ještě vychází vzestupný půlkmit.

5. Závěr

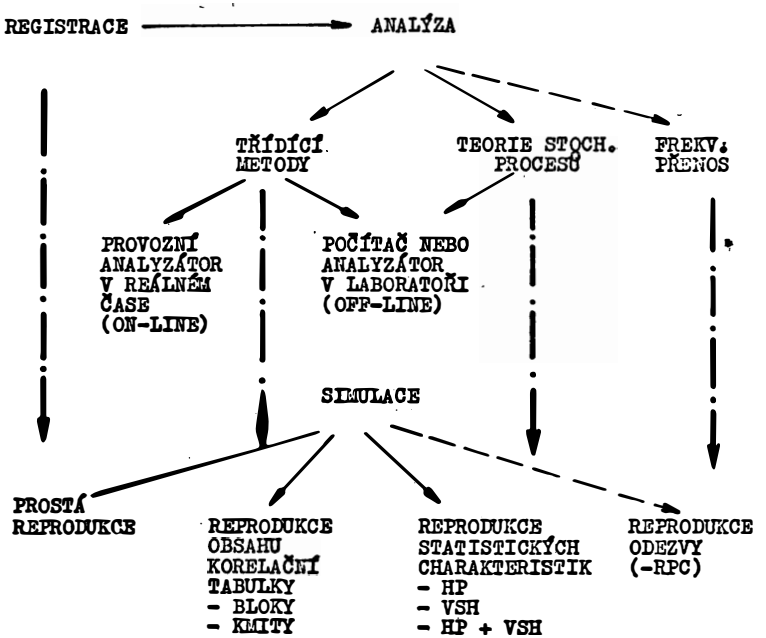
Uvedené metody simulace půlkmity jsou svým způsobem optimálním řešením: vycházejí z výsledků provozního měření i dlouhodobého charakteru, berou v úvahu náhodný charakter simulovaného procesu,

lze je snadno algoritmizovat a využívat na servohydraulických zkušebních strojích s řídícím počítačem. Jsou též využity v našem programovém systému ANPRES.

[1] Čačko, J. - Bílý, M. - Bukoveczky, J.: Meranie, vyhodnocovanie a simulácia prevádzkových náhodných procesov. Veda, Bratislava 1984.

[2] Vlk, M.: Teoretické podklady pro vyhodnocení spektra provozního zatížení. (Výzkumná zpráva č. 1102/83). Vítkovice, ÚAM Brno 1982.

[3] Downing, S. D. - Socie, D. F.: Simple Rainflow Counting Algorithmus. International Journal Fatigue, 1981, č. 1, s. 31-40.

[4] Vlk, M. - Hepnárek, I.: Programový systém ANPRES pro analýzu, predikci a simulaci únavové životnosti. Technický zpravodaj - Ocelové konstrukce, 20, 1984, č. 2, s. 88-92.

[5] Vlk, M. - Hepnárek, I.: Simulace provozního zatížení dílců velkostrojů. (Výzkumná zpráva č. 1315/85). VŽSKG-ÚAM, Brno 1985.