

Diagnostika a optimalizace tepelného cyklu parní turbíny

Technologické procesy a zařízení v elektrárnách nebo teplárnách lze mít nepřetržitě pod kontrolou, a zajistit tak jejich provozování blízko optima při současném plnění bezpečnostních a environmentálních požadavků. Dosáhnout tohoto nanejvýš žádoucího stavu lze vhodnou realizací úloh diagnostiky a optimalizace založených na využití zpracovaných a praxí prověřených funkcí vyrovnání dat a simulace procesu.

Elektrárna nebo teplárna představují komplexní technický systém, ve kterém probíhá mnoho vzájemně provázaných technologických procesů. Snahou jejich provozovatelů je dosahovat ekonomických přínosů, a to při splnění bezpečnostních a environmentálních požadavků a dalších omezení. Jednou z hlavních podmínek, které je třeba při tomto snažení při daných materiálových vstupech a okolním prostředí splnit, je dosahovat vždy maximálního výstupního výkonu anebo maximální účinnosti transformace vstupní energie na energii výstupní, aniž by přitom byly překročeny přípustné emise. Jinými slovy to znamená provozovat elektrárnu nebo teplárnu za daných omezení v blízkosti jejího optima.

Hodnocení, diagnostika, optimalizace

Žádoucího optimálního chodu technologických procesů v elektrárně anebo teplárně je možné dosáhnout promyšleným zavedením a používáním úloh diagnostiky a optimalizace.

K omezením, která je třeba respektovat, patří zejména:

- materiálové, popř. energetické vstupy,
- vlivy okolí (např. teplota okolního vzduchu),
- technické a legislativní požadavky.

Optimum je obvykle mnohazměrné a zahrnuje:

- výkon a účinnost,
- náklady na provoz a údržbu,
- spolehlivost (bezporuchovost, životnost, udržovatelnost a opravitelnost, pohotovost).

Jako objektivní a univerzální kritérium optimality se nejčastěji používají celkové náklady, popř. náklady vztahované na jednotku výroby.

Diagnostikou (diagnózou) se rozumí určení technického stavu diagnostikovaného zařízení a procesu v elektrárně anebo teplárně, a to z pohledu dosahovaných hodnot parametrů charakterizujících výkonnost (např. celkový koeficient prostupu tepla u výměníků, tepelná účinnost cyklu apod.).

Optimalizací se rozumí uvedení do souladu aktuálního způsobu provozování elektrárny anebo teplárny se skutečně dosažitelnými možnostmi zařízení.

Klíčovou roli při zavádění úloh diagnostiky a optimalizace mají funkce *vyrovnání dat* a *simulace procesu*.

Vyrovnání dat

Vyrovnání dat je první klíčovou funkcí. Jde o pokročilou techniku zpracování namě-

řených, popř. předzpracovaných údajů. Cílem je získat přesnější pohled „dovnitř“ procesu – poznat jeho reálný stav.

Vyrovnání dat umožňuje:

- detekovat, identifikovat a eliminovat hrubé chyby měření,
- zvýšit přesnost měření,
- detekovat postupnou degradaci snímače (čidla),
- dopočítat hodnoty veličin, které se přímo neměří,
- získat konzistentní (z pohledu fyzikálních zákonů a dalších omezení) soubor dat pro další zpracování.

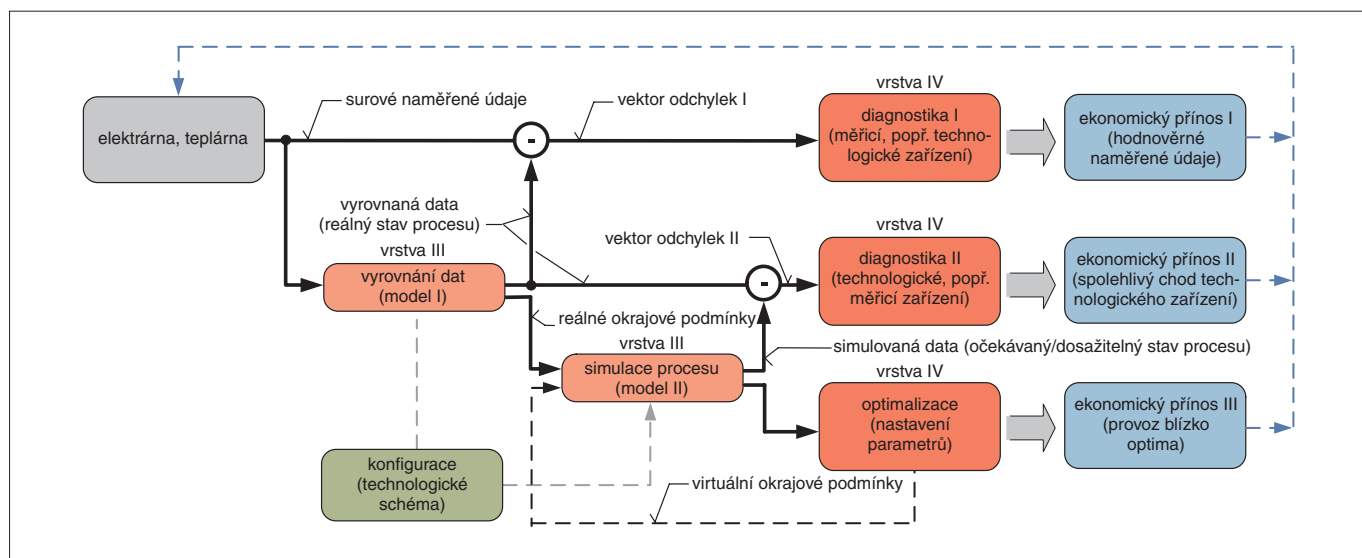
Vyrovnání dat představuje celostní přístup zpracování dat využívající informaci ze všech měření vykonávaných na technologickém zařízení.

Simulace procesu

Simulace procesu je druhou klíčovou, z hlediska uskutečnění v praxi obtížnější funkcí umožňující realizovat úlohy diagnostiky a optimalizace.

Simulací se rozumí studium určitých vlastností a chování systému prostřednictvím jeho modelu. Cílem simulace procesu je co nejvěrněji reprodukovat chování reálného procesu. Prostřednictvím věrné reprodukce chování reálného procesu za zadaných podmínek lze hlouběji porozumět danému procesu a chování zařízení.

Simulační model se skládá z jednotlivých vzájemně propojených komponent. Komponenta představuje matematický model určité-



Obr. 1. Základní koncept použití funkcí vyrovnání dat (model I) a simulace procesu (model II) v úlohách diagnostiky výroben energie a optimalizace jejich provozu (vrstva III, vrstva IV; viz obr. 1 v článku na str. 22)

ho zařízení nebo jeho části (část parní turbíny, výměník tepla apod.). Tvorba modelu celého tepelného cyklu parní turbíny spočívá v postupné tvorbě modelů jeho jednotlivých komponent v řadě iteračních cyklů.

Vstupy do následujících simulačních výpočtů s použitím vytvořeného modelu jsou:

- interakce systému s okolím typu vstup,
- hodnoty regulovaných veličin,
- konkrétní konfigurace tepelného cyklu parní turbíny.

Výstupem simulačního výpočtu jsou:

- interakce systému s okolím typu výstup,
- hodnoty stavových proměnných (veličin v určených bodech tepelného cyklu).

Simulační model se využívá k určení (resp. odhadu) očekávaného, popř. dosažitelného stavu reálného systému (procesu), a to za daných okrajových podmínek, kterými jsou např. množství přiváděného tepla, množství a teplota chladicí vody apod.

Základní koncept použití funkcí vyrovnání dat (model I) a simulace procesu (model II) pro úlohy diagnostiky a optimalizace je znázorněn na obr. 1.

Úloha diagnostiky

Principem úlohy diagnostiky je porovnat aktuální stav reálného systému zjištěný s použitím funkce vyrovnání dat a očekávaným, popř. dosažitelným stavem určeným prostřednictvím simulace chování systému (procesu). Porovnávají se:

- hodnoty stavových veličin v klíčových místech tepelného cyklu,
- hodnoty parametrů výkonosti celého cyklu a jednotlivých zařízení.

Z porovnání lze zjistit a identifikovat závady těchto dvou typů:

- z časového hlediska postupné (degradace) a z hlediska rozsahu částečné,
- z časového hlediska náhlé a z hlediska rozsahu částečné (sem např. patří nesprávná konfigurace tepelného cyklu – propojení zařízení, a to z hlediska žádoucího provozního režimu).

Zásadním požadavkem je zde přesnost porovnání. Ta je určena správností a přesností měření (se zahrnutím pokročilého zpracování naměřených údajů, tj. vyrovnání dat) a kvalitou simulačního modelu.

Na přesnost vyrovnání dat mají rozhodující vliv:

- správnost, přesnost, počet a umístění jednotlivých snímačů,
- přesnost, resp. míra podrobnosti matematického modelu (uvážené zahrnutí těch parametrů systému, u nichž lze předpokládat závislost na čase, např. působením procesů degradace).

Při realizaci úloh diagnostiky a optimalizace je proto důležitou etapou kontrola stavu snímačů a odstranění případných závad. V některých případech je žádoucí nebo nutná výměna snímačů (čidel snímačů) a popř. jejich doplnění.

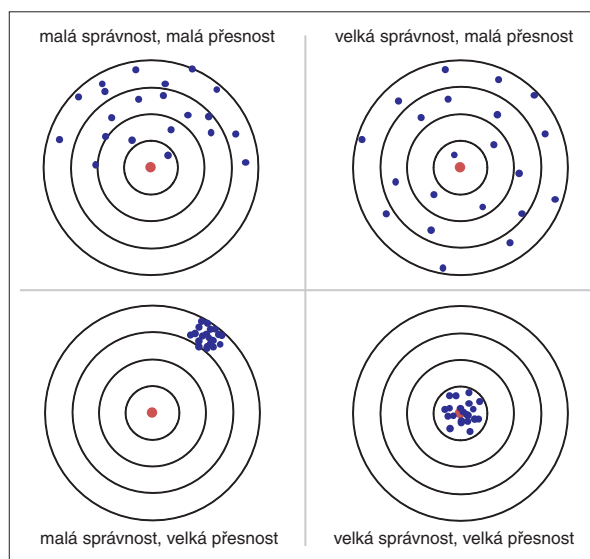
Na kvalitu simulace procesu mají rozhodující vliv:

- přesnost, resp. míra podrobnosti struktury simulačního modelu, tj. která zařízení jsou modelována a která jsou zanedbána,
- vhodný výběr matematických modelů jednotlivých komponent,
- správnost nastavení hodnot parametrů modelů komponent.

Rozhodující vliv poslední z položek – správnost nastavení modelů komponent. Hodnoty parametrů komponent se obvykle přebírají z projektových podkladů a z podkladů výrobce zařízení nebo se určují měřením. Po-

Dalším závažným problémem je vliv přechodových stavů. Eliminovat tento vliv lze zejména:

- volbou vhodné míry podrobnosti matematických modelů, např. zahrnutí dalších okrajových podmínek (vstupů pro model),
- zahrnutím jevu akumulace hmoty a energie v modelovaném zařízení v průběhu přechodového procesu,
- vyloučením ze sledování těch časových úseků, kde předchozí opatření nedostačují (např. při nahodilých chybách snímačů či manipulacích na reálném zařízení, které nejsou modelovány).



Obr. 2. Význam pojmů správnost a přesnost a jejich vzájemná souvislost

žadavek na správnost a přesnost měření vede opět k výše uvedeným požadavkům na funkci vyrovnání dat.

Při výběru matematického modelu komponenty je k popisu složitějších jevů vhodné nebo nutné použít kombinace analytického a empirického postupu (např. pro poslední stupeň parní turbíny).

Z uvedeného sdělení je zřejmé, že na přesnost diagnostiky má vliv správnost a přesnost, tj. nejistota snímačů. Ta se podle typu a výrobce snímače pohybuje od desetin do jednotek procent. Je-li cílem úlohy diagnostiky detekce a identifikace závad zařízení nebo závad procesu o velikosti řádu desetin procenta pro sledovanou veličinu nebo parametr, vzniká zde zjevný rozpor.

V praxi bylo ověřeno, že tomuto problému lze „čelit“ nikoliv zjišťováním rozdílu mezi hodnotou sledované veličiny určenou vyrovnáním dat a její hodnotou určenou simulací procesu, ale sledováním změny tohoto rozdílu v čase. S výhodou se využívá skutečnost, že provozní veličiny nemusí být měřeny správně, a bývají měřeny přesně. Význam a vzájemnou souvislost pojmů *správnost* a *přesnost* objasňuje obr. 2. Již uvedeným postupem lze zvýšit přesnost detekce a identifikace závady až o jeden řád.

Úloha optimalizace

Optimalizace je proces hledání takových hodnot parametrů zařízení nebo hodnot provozních veličin, při nichž optimalizační kritérium dosahuje maxima nebo minima.

Základním nástrojem pro úlohu optimalizace je simulační model jako prostředek k pochopení podstaty chování reálného procesu či alespoň k nahlédnutí do ní. Při optimalizaci s použitím simulačního modelu obvykle není k dispozici exaktně daná cílová funkce (optimalizační kritérium). Proto je třeba postupovat následujícím způsobem.

Optimalizace se realizuje postupnou změnou hodnot vybraných parametrů simulačního modelu a následným simulačním experimentem (výpočtem simulačního modelu). Optimalizace se pak uskuteční na základě mnoha simulačních experimentů a následného výběru těch hodnot parametrů, při kterých optimalizační kritérium dosáhlo extrému.

Jestliže v reálném procesu existuje určitá volnost ve volbě jeho organizace a struktury, může se vhodnou změnou daných parametrů pro určené optimalizační kritérium najít optimální chování procesu. V takovém případě jde o vzájemné porovnání několika alternativ na základě stanoveného kritéria optimálnosti.

Účelnou podporu zde poskytuje vhodná vizualizace výsledků.

PowerOPTI – realizace úloh diagnostiky a optimalizace

Na základě již uvedených principů je vytvořen softwarový produkt PowerOPTI, určený k realizaci úloh typu *hodnocení výkonosti, diagnostika a optimalizaci elektráren a tepláren*.

K významným vlastnostem produktu PowerOPTI patří:

- tvorba přípravy technologického schématu pro definování modelů I a II při použití

- grafického editoru (znázornění struktury systému blokovým schématem) a knihovny předem definovaných komponent,
- definování algoritmů předzpracování a následného (post-) zpracování při použití technologického jazyka vhodného k použití odborníky – technology,
- režimy práce zahrnující přípravu, ladění a identifikaci modelů, jejich výpočet a přepočítání *on-line*,
- snadná integrace do současné struktury informačního systému provozovatele elektrárny nebo teplárny a provoz v režimu blízkém režimu reálného času,
- podpora provádění kontrol zařízení podle specifických požadavků zákazníka (tech-

nická podpora, podpora činnosti směnové nebo personálu).

Závěr

Hlavní přínos úloh diagnostiky a optimalizace pro provozovatele elektráren nebo tepláren spočívá v tom, že mají technologický proces a zařízení nepřetržitě pod kontrolou, a mohou tak zajistit jeho provozování blízko optima za současného plnění bezpečnostních a environmentálních požadavků.

- Další významné přínosy jsou:
 - odborní pracovníci provozovatele postupně získávají hlubších znalosti o technologickém procesu a funkci zařízení; zkušenosti

z praxe ukazují, že odborní pracovníci nalézají takové závady, které byly po dlouhou dobu „skryty“;

- možnost porovnávat činnost jednotlivých směn provozního personálu.

Další související informace lze nalézt v článku *Softwarová základna pro hodnocení výkonnosti, diagnostiku a optimalizaci* v tomto časopise na str. 22.

Ing. Jiří Pliska,
RNDr. Zdeněk Machát,

Ing. Petr Šurý,

Divize Optimalizace energetických výroben,
I & C Energo a. s.

Process Management Academy 2011 – excelentnost v bezpečnosti a udržitelné výrobě

Provozní excelentnost – *operational excellence* – je koncepce kontinuálního zlepšování provozu podniků, kdy cílem je zvýšit zisk a spokojenost zákazníků. Zlepšování provozu podniků se přitom dosahuje optimalizací fyzických i ekonomicko-organizačních procesů a v souladu se zlepšováním řízení lidských zdrojů a snižováním provozních nákladů. Koncepce *operational excellence* se dotýká všech součástí výroby uvnitř podniku i jeho vnějších vztahů.

Process Management Academy (PMA) je celoevropská platforma pro sdílení zkušeností a propagaci koncepce *operational excellence* v oborech procesní výroby.

Průmyslové nehody a havárie jasně ukazují, že bezpečnostní automatizované systémy musí být doplněny účinnými a jednoznačnými organizačními směrnici a „kulturou bezpečnosti“. Letošní PMA ukáže posluchačům, jak prostřednictvím technických i organizačních opatření dosahovat bezpečné výroby.

V oblasti bezpečnosti práce bylo za poslední roky dosaženo velkého pokroku. Nejde však jen o to – stejně je nutné zajistit bezpečnost výrobků tak, aby neohrožovaly zákazníky, nebo, v případě farmaceutické výroby,

pacienty. Bezpečnost práce a bezpečnost výrobků jsou nepřímo spojeny. Často využívají stejné nebo podobné nástroje, a proto budou všechny tyto aspekty bezpečnosti na pořadu jednání PMA 2011.



Obr. 1. Posluchači konference PMA

Již několik let je „horkým“ tématem také energetická efektivnost a omezování tzv. uhlíkové stopy. Také zde je třeba na výrobu pohlížet jako na komplexní systém, kde se jednotlivé součásti navzájem ovlivňují. Například snížení spotřeby vody v provozu bezpochyby povede i ke snížení spotřeby energie. Největší

výzvou současné doby je hledat rychlé a cenově výhodné způsoby, jak omezovat spotřebu fosilních paliv a dalších neobnovitelných surovin. Udržitelná výroba, efektivní z hlediska spotřeby energie i surovin, bude druhým hlavním tématem PMA 2011.

PMA není vědecká konference. Jejím posláním je především vzdělávat, a na to budou zaměřena vystoupení všech přednášejících, ať se budou týkat vlivu automatizační techniky a lidského činitele na bezpečnost výroby, bezpečnosti výrobků nebo bezpečnosti životního prostředí. Přednášet budou významní odborníci z oblasti vědeckého výzkumu a technického vývoje, kteří posluchače seznámí s tím, jak dosahovat provozní excelentnosti prostřednictvím nejmodernějších metod a techniky. Zástupce Evropské komise vysvětlí, jak je výzkum a vývoj v této oblasti podporován ze 7. rámcového programu a bude připraven k dialogu se zástupci uživatelů a dodavatelů řídicí, automatizační a komunikační techniky o tom, jak podporu programu co nejlépe využít v průmyslové praxi. Zástupci významných výrobců z oboru procesní výroby představí své nejlepší praktiky, výsledky srovnávacích testů a způsoby využití moderní automatizační techniky a budou diskutovat o tom, jak se co nejlépe a nejrychleji vypořádat s provozními problémy.

Sejmý ročník Process Management Academy se bude konat 28. února až 1. března 2011, tentokrát v belgických Antverpách. Zájemci o aktivní účast nebo sponzorství se mohou ozvat (co nejdříve) telefonicky René Kiliesovi na +49 210 428 698 89 nebo e-mailem na rkilies@arcweb.com. Další informace o konferenci lze najít na webové stránce Process Management Academy www.arcweb.com/res/pma.

(ARC Advisory Group)

Proč se zúčastnit PMA 2011?

- Naučíte se, jak ve vašem podniku implementovat „kulturou bezpečnosti“ a jak v tom může pomoci řídicí technika.
- Dozvíte se, jak principy bezpečnosti efektivně podporovat organizačními opatřeními.
- Odhalíte, jak dosáhnout současně efektivnosti výroby i její ohleduplnosti k životnímu prostředí.
- Uslyšíte, jak jinde řeší problémy podobné vašim.
- Získáte informace o nejnovějších metodách řízení životního cyklu výrobků.
- Seznámíte se s kolegy z celé Evropy a domů si přivezete nové poznatky, jak zlepšit vaše výrobní procesy.