

Rízení biotechnologických procesů

Ing. VÁCLAV SOBOTKA, CSc., Ing. ANNA SCHOPFOVÁ, Výzkumný ústav chemických zařízení, Brno

Klíčová slova: fermentace, ASŘTP, programové vybavení, koncentrace biomasy, řízení

Úvod

Na I. biotechnologických dnech v roce 1985 byl uveden referát [1], který ukázal na obecnější problémy při zavádění řízení technologických procesů v biotechnologii a uvedl konkrétní vývoj a základní zkušenosti při využití počítačových systémů pro řízení fermentorů.

Vzhledem k tomu, že rozvoj biotechnologií a mikroelektronika patří mezi hlavní oblasti, na které je zaměřen Komplexní program vědeckotechnického pokroku členských zemí RVHP, byl v krátkém období uplynulého roku patrný zvýšený zájem o urychlený rozvoj a rozšiřování biotechnologických postupů, včetně požadavků na modernizaci jejich řízení. Na řadě pracovišť, od Československé akademie věd až po jednotná zemědělská družstva, se na této problematice intenzivně pracuje.

Předkládaný příspěvek doplňuje, zvláště v oblasti programového vybavení, uvedený pramen, uvádí možnosti využití řídicí výpočetní techniky pro specificky biotechnologické otázky a dokumentuje je prakticky dosaženými výsledky prací Výzkumného ústavu chemických zařízení (VÚCHZ) Brno.

Přehled problematiky

Problematiku řízení biotechnologií lze rozdělit na dvě základní oblasti:

1. část společná pro všechny technologické procesy;
2. část specifická pro biotechnologie.

Do první části patří například požadavky kladené na technické vybavení výpočetního systému a na jeho periferie, v oblasti programové dostupnost operačního systému umožňujícího práci v reálném čase, základní uživatelské programy jako sběr a prezentace dat, včetně jejich zpracování. Z technologické instrumentace je sem možno zařadit některá čidla (teplota, průtok, tlak aj.) a akční členy.

Pro biotechnologie jsou charakteristická některá specifická čidla a měřicí metody (měření koncentrace roz-

puštěného kyslíku, koncentrace plynů ve výdechu, pH). Změřené hodnoty vytvoří soubor dat, který slouží jak pro průběžné sledování procesu, tak jako základ pro výpočty technologických parametrů (růstová rychlost, produktivita, výtěžnost) a výrobně-ekonomických informací (specifické spotřeby surovin a energií, výroba za směnu, den atd.). Některé charakteristické veličiny nejsou přímo měřitelné a doplňují se do souboru změřených dat dodatečně off-line na základě laboratorních analýz. Nevýhodou tohoto postupu je značné časové zpoždění od odběru vzorku do okamžiku vkládání výsledných hodnot, nízká četnost odběrů vzorků a to, že obvykle laboratoř nepracuje v nepřetržitém provozu. Vzhledem k tomu, že jde mnohdy o veličiny významné svou vypovídací schopností a měly by být zahrnuty do parametrů pro řízení, je snaha nalézt postupy výpočtu těchto hodnot in-line z měřitelných veličin.

Při výzkumných a vývojových pracích v biotechnologii je důležité archivování změřených souborů dat pro další zpracování, jako je zjišťování reprodukovatelnosti procesu a vlivu jednotlivých parametrů na chod technologie.

Struktura programového vybavení

Programové vybavení pro monitorování a řízení biotechnologických procesů je vhodné — s ohledem na postup prací při nasazování — navrhovat ve formě nezávislých modulů. Základními uživatelskými programy jsou program pro sběr a zpracování dat a komunikační program, který umožňuje modifikovat parametry chodu systému. Tyto moduly jsou do značné míry univerzální pro jakoukoliv technologii a zajišťují rovněž vhodnou archivaci dat. Další programové moduly se vytvářejí pro výpočty technologických parametrů a pro výrobně-ekonomické údaje.

Na základě stupně znalosti procesu je nutno formulovat řídicí algoritmy a ty převést do programového modulu regulace a řízení. Obsah a složitost tohoto modulu bude závislá na použité technologii a je třeba po-

čítat s jeho průběžným upřesňováním a rozšiřováním na základě postupně získávaných znalostí.

Zvláště u vývojových a výzkumných zařízení se vytvářejí moduly pro výpočet přímo neměřitelných veličin a pro statistická zpracování in-line. Výsledky těchto výpočtů mohou zpětně ovlivňovat parametry v modulu řízení.

Dále je soubor programů vhodné doplnit moduly pro — pseudografické znázornění průběhů veličin měřených nebo vypočtených, a to buď jednotlivě nebo v souborech sestavených podle požadavků technologií,

- doplnění a opravy archivovaných souborů dat,
- rychlé, nezávislé sledování vybraných veličin.

Činnost celého souboru programu je určena v základním komunikačním modulu, kterým obsluha zadává základní parametry práce systému (priority jednotlivých úloh, intervaly spouštění a konstantní technologické veličiny). Spouštění jednotlivých programů lze zajistit buď v daných časových intervalech, nebo na základě požadavku z procesu nebo obsluhy.

Zjišťování koncentrace biomasy

V rámci řešení úkolu ASŘTP fermentace používá VÚCHZ systém SAPI R ve velkokapacitním fermentoru v SELIKO Kojetín. Při využívání ethanolové technologie pro výrobu krmných bílkovin je jedním z důležitých a při tom přímo neměřitelných parametrů koncentrace biomasy. Snahou bylo získat a ověřit postup pro určení okamžité hodnoty koncentrace z měřených hodnot. Ze základní stechiometrické rovnice procesu biosyntézy kvasničné hmoty z ethanolu jsou v [2] odvozeny jednoduché vztahy, určující množství biomasy produkované v určitém čase, vždy z dvojice měřitelných, popř. odvoditelných parametrů. Jedná se o tyto rovnice:

$$\begin{aligned}x &= 1,58 S - 0,757 O \\x &= 1,13 S - 0,593 CO_2 \\x &= 1,90 O - 2,082 CO_2 \\x &= \frac{4,35 - 6,52 RQ}{3,83 - 4,13 RQ} \cdot S\end{aligned}$$

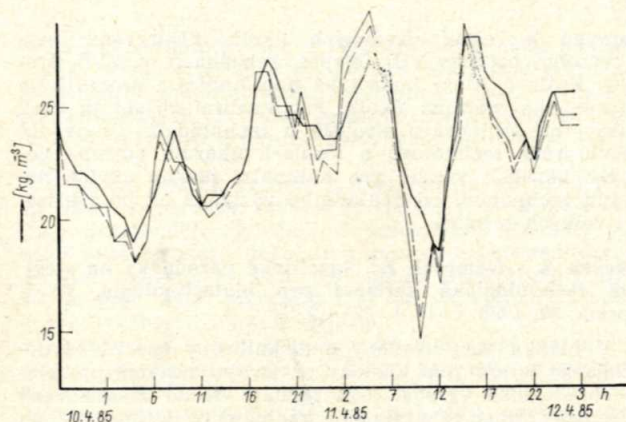
kde x je množství produkované biomasy [$kg \cdot h^{-1}$]
 S — množství spotřebovaného čistého ethanolu [$kg \cdot h^{-1}$]
 O — množství spotřebovaného kyslíku [$kg \cdot h^{-1}$]
 CO_2 — množství uvolněného oxidu uhličitého [$kg \cdot h^{-1}$]
 RQ — respirační kvocient $RQ = \frac{\% CO_2}{20,9 - \% O_2}$

První část prací využívala uvedené vztahy pro určování koncentrace biomasy v hodinových intervalech. Výchozími parametry byly spotřeba ethanolu, koncentrace plynů ve výdechu a průtok vzduchu. Toto jsou měřitelné veličiny, sledované v dvouminutových intervalech během celého pokusu. Pro výpočty koncentrace biomasy se využívá hodinových průměrů těchto hodnot. Ve fázi výroby, kdy se jedná o kontinuální provoz s odtahem zápars, jsou ve výpočtu uvažovány změny koncentrace zápars v průběhu sledované hodiny. Touto metodou se počítal pouze přírůstek biomasy; přepočet na koncentraci se opíral o znalost hodnoty koncentrace z minulé hodiny, zjištěné laboratorně.

Typická ukázka dosažených výsledků je uvedena na obr. 1. Výsledky získané aplikací uvedených vztahů se od sebe liší velmi málo. Pro přehlednost obrázku jsou zobrazeny pouze dva vypočtené průběhy a průběh hodnot koncentrace biomasy zjištěných v laboratoři.

Použité vztahy jsou odvozeny pro vyrovnaný kontinuální provoz. Skutečný režim chodu fermentoru, v kterém byla měření prováděna, byl z provozních důvodů veden jako kombinace režimu „batch-kontinual“. Přes tento fakt odpovídaly dosažené výsledky s dostatečnou přesností skutečnosti, a proto byl postup dále rozvíjen.

Princip dalšího postupu spočívá v tom, že nárůst biomasy vypočtený z jednotlivých vztahů má být v každém okamžiku stejný. Vzniklé vzájemné odchylky jsou způsobeny nepřesností nebo chybami měření vstupních parametrů (S , O , CO_2); stupeň nepřesnosti jednotlivých komponentů lze podle zkušenosti charakterizovat kon-

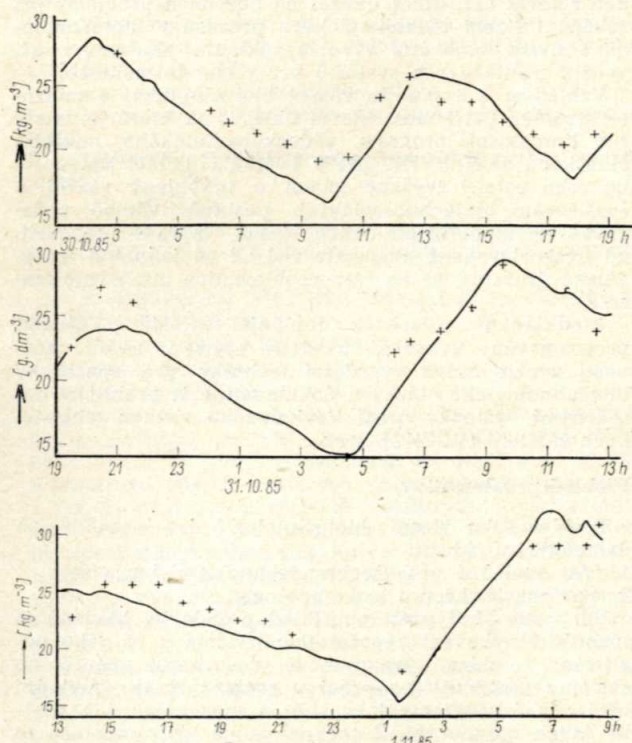


Obr. 1. Porovnání průběhu koncentrace biomasy určované v laboratoři (plná silná čára) a průběhů koncentrace biomasy vypočtené ze vztahu využívajícího spotřebu ethanolu a množství CO_2 ve výdechu (plná slabá čára) a ze vztahu využívajícího spotřebu ethanolu a respirační koeficient (čárkované).

stantní odchylkou. Vzhledem k tomu, že uvedená soustava vztahů pro výpočet přírůstku biomasy je předurčena, je možno použít vyrovnání metodou nejmenších čtverců. Tím se získá nejpravděpodobnější hodnota přírůstku biomasy a dále se z hodnot výchozí koncentrace, objemu vsádky a množství odtahované zápars určí okamžitá koncentrace biomasy.

Byl vytvořen programový modul pracující na popsaném principu. Při spuštění tohoto modulu se zadá současná koncentrace (na základě údajů z laboratoře), dále program v pravidelných intervalech (v provozu se používá 10 minut) vypočítává aktuální hodnotu koncentrace. Jako počáteční koncentraci pro daný interval používá údaj vypočtený v předchozím kroku.

Pokud je nesoulad vstupních parametrů v určitém



Obr. 2. Průběh koncentrace biomasy vypočítávaný in-line metodou vyrovnávání. Křížky udávají hodnoty koncentrace zjišťované v laboratoři.

roku příliš veliký, tiskne se upozornění, event. varování.

Metoda byla odzkoušena při různých provozních režimech. Obrázek 2 ukazuje průběh koncentrace vypočítávané v krátkých intervalech a hodnoty udávané laboratorně.

Jednou z veličin, která silně ovlivňuje výsledné hodnoty, je množství odtahované zápary. Velikost odtahu se měří na vstupu do separátoru. Fugát se neměřený vrací zpět do fermentoru. Odtahovaná zápara je napěněná. Její hustota je proměnná, a proto přesné určení odtahovaného množství není jednoznačné. Tyto skutečnosti způsobují nepřesnosti ve výpočtech koncentrace a v současné době se hledají cesty pro jejich eliminování. Ilustrace vlivu odtahované zápary na vypočtené hodnoty je na obr. 3.

Literatura

- [1] SOBOTKA, V.: Problematika automatického systému řízení technologických procesů biotechnologií, Kvas. prům. 31, 1985, č. 7—8, s. 191—194
- [2] RUT, M.: Souhrn bilančních vztahů pro popis syntézy biomasy z ethanolu, Dílčí výzkumná zpráva, Výzkumný ústav krmivářského průmyslu a služeb Praha, červen 1982

Sobotka, V. - Schopfová, A.: Řízení biotechnologických procesů. Kvas. prům., 32, 1986, č. 11, s. 275—277.

Príspevek volně navazuje na referát z I. biotechnologických dnů v roce 1985. Uvádí dvě základní oblasti problematiky řízení biotechnologií a charakterizuje nutnou strukturu programového vybavení. Podrobněji rozzebírá otázku průběžného stanovení koncentrace biomasy ve fermentoru a uvedenou metodu dokumentuje výsledky dosaženými ve velkokapacitním fermentoru na výrobu krmných bílkovin.

Соботка, В., Шопфова, А.: Управление биотехнологических процессов. Квас. прум. 32, 1986, № 11, стр. 275—277.

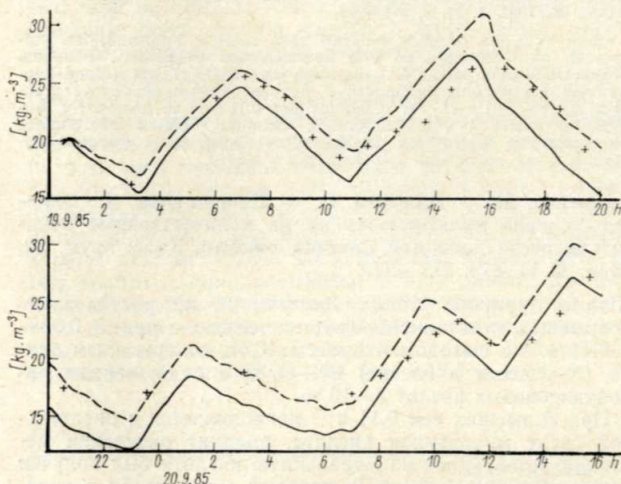
Статья косвенно связана с докладом на I. биотехнологических днях в 1985 г. Она занимается двумя основными областями проблематики регулирования биотехнологий, характеризуя необходимую структуру программного оборудования. Более подробно занимается вопросом о текущем предварительном определении концентрации биомассы в ферменторе и ниже указанный метод документирует результатами, достигнутыми в ферменторе с большой пропускной способностью, назначенном для производства кормовых белков.

Sobotka, V. - Schopfová, A.: Control of Biotechnology Processes. Kvas. prům., 32, 1986, No. 11, pp. 275—277.

The article partly follows the topics discussed in the previous paper submitted to the I. biotechnological days. Two main areas about the control in biotechnology are mentioned and the necessary structure of software package is characterized. The methods of continuous determination for biomass concentration are discussed in more detail and the practical results from their application on the plant-scale fermentor for fodder yeast production are presented.

Sobotka, V. - Schopfová, A.: Steuerung biotechnologischer Prozesse. Kvas. prům., 32, 1986, Nr. 11, s. 275—277.

Der Artikel knüpft lose an das während der I. biotechnologischen Tage 1985 vorgetragene Referat an. Es werden zwei grundlegende Gebiete der Problematik der Steuerung der Biotechnologie angeführt und die notwendige Struktur der Programm-Ausrüstung charakterisiert. Detaillierter wird die Frage der durchlaufenden Konzentration der Biomasse im Fermentor behandelt und die angeführte Methode wird mit Resultaten dokumentiert, welche in einem Grossraum-Fermentor zur Herstellung von Futtereiprotein erzielt wurden.



Obr. 3. Průběh koncentrace biomasy vypočítávaný in-line metodou vyrovnávání (plná čára). Čárkovaná křivka ukazuje vliv hustoty napěněné zápary ($\rho = 0,86 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Křížky udávají hodnoty koncentrace zjišťované v laboratorně.

Výsledky průběžně zjišťované koncentrace biomasy byly použity k automatické korekci poměru dávkování ethanolu a amoniaku.

Závěr

Príspevek se zabývá převážně strukturou programového vybavení nutného pro využití automatizovaného systému řízení v biotechnologii.

Výsledky konkrétní aplikace ukazují na cesty vedoucí k řešení typicky biotechnologických problémů, které jsou schůdné pouze s použitím počítačové techniky.