

Chladicí okruh fermentoru 200 m³

579 663

Ing. PAVEL SEICHTER, CSc., OTO VÍTEK, Ing. PAVEL VAŠÁK, Ing. KAREL PĚNČÍK, Ing. LUBOŠ PEŠL, Výzkumný ústav chemických zařízení, Brno

Klíčová slova: *biotechnologie, fermentor, zápara, chlazení, čerpadlo, tepelný výměník, součinitel přestupu tepla*

1. ÚVOD

Fermentor 200 m³ s přímým náhonem míchadel koncepce Chepos - VÚCHZ na výrobu krmných bílkovin z ethanolu byl postaven a provozně odzkoušen v Seliko, k. p., závod Kojetín. Vyhodnocení tzv. kapacitní zkoušky z hlediska produkce fermentoru a spotřeby surovin a energií je předmětem práce [1]. U tohoto zařízení je externí systém chlazení s cirkulačním obvodem a deskovým chladičem. Napěněná fermentační zápara se čerpá odstředivým čerpadlem. K chlazení zápary se využívá chladicí voda (upravená říční voda z řeky Moravy).

Cílem nového řešení chlazení fermentační zápary je kromě zintenzívnění výměny tepla možnost snadného vyčištění teplosměnných ploch z obou stran.

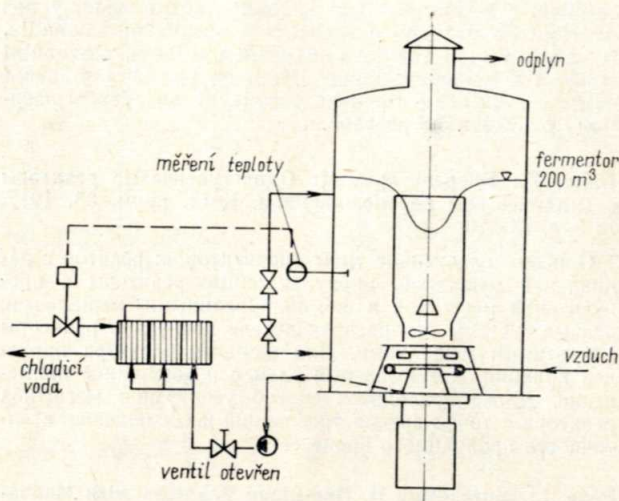
2. POPIS OKRUHU

Ze spodní části fermentoru byla odtahována fermentační zápara potrubím světlosti Js 200 (odzkoušeno i Js 150 a Js 250) do odstředivého čerpadla s otevřeným kolem Sigma 150-NFT-340 (dále se též zkoušelo i čerpadlo 150-NFT-400). Toto čerpadlo bylo umístěno asi 3,5 m pod úrovní dna fermentoru a pracovalo tedy se zápornou sací výškou asi 7,0 až 8,5 m. Výtlačným potrubím čerpadla světlosti Js 150 se zápara dopravovala do deskového chladiče CHS Chotěboř o chladicí ploše 150 m². Okruh je schematicky znázorněn na *obrázku 1*.

Systém měření a regulace

Průtok byl měřen indukčními průtokoměry a rtuťový-

mi a odporovými teploměry vstupní a výstupní teploty zápary u chladiče. Současně se měřila i teplota zápary ve fermentoru ve třech místech: u dna fermentoru, uprostřed výšky a v horní části fermentoru.



Obr. 1. Schéma uspořádání chladicího okruhu fermentoru 200 m³, Seliko Kojetín (koncepte Chepos-VÚCHZ)

Teplota ve fermentoru se regulovala na základě vstupní teploty zápary do chladiče. Regulátorem TRS byl ovládnut ventil vstupu chladicí vody do výměníku.

Pro vyhodnocení měrného kultivačního tepla bylo třeba ještě měřit:

- příkon míchadla a cirkulačního čerpadla,
- průtok vzduchu,
- produkci fermentoru.

3. VÝSLEDKY MĚŘENÍ ČERPÁNÍ ZÁPARY

Experimentálně se sledoval vliv relativní zádrže vzduchu uvnitř fermentoru na velikost maximálního čerpaného množství čerpadlem 150-NFT-340. Ukázalo se, že čerpací schopnost tohoto čerpadla závisí na velikosti zádrže vzduchu ve fermentačním médiu. Hodnota průtoku se snižovala při nárůstu zádrže, při průtoku asi 150 m³ · h⁻¹ již vznikaly silné pulsace průtoku a při průtoku asi 60 m³ · h⁻¹ nastalo úplné rozvrstvení toku (sledování ve skleněné části potrubí). Tyto výsledky byly konfrontovány s prací zabývající se dvoufázovým prouděním [2]. Určením hodnot tzv. Bakerových parametrů [2] se zjistilo, že podmínky proudění při zádrži vzduchu asi 50 % odpovídají nestabilní oblasti na rozhraní bublinového toku a pulsačního toku. Současně byly proměřeny v sací části potrubí cirkulačního okruhu tlakové ztráty. Podle [2] byly vypočteny tlakové ztráty téže potrubní trasy se zahrnutím všech místních odporů.

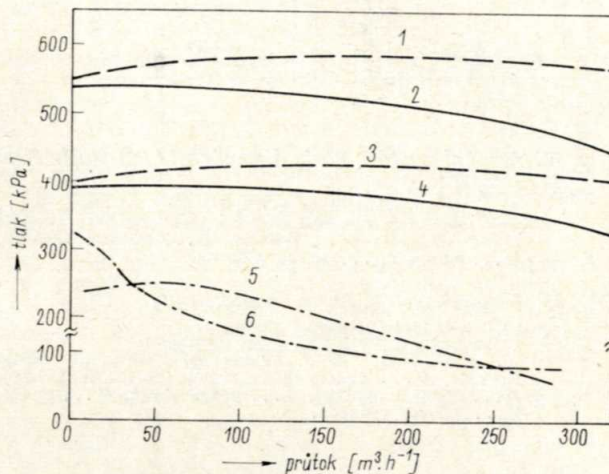
Při průtoku 275–280 m³ · h⁻¹ a zádrži vzduchu ve fermentoru 48–52 % byly naměřeny hodnoty tlakové ztráty: 0,019–0,021 MPa. Výpočtem (podle [2]) stanovená hodnota tlakové ztráty pro stejnou velikost průtoku a pro zádrž vzduchu uvnitř potrubí 50 % činila pouze 0,0145 MPa (v oblasti bublinového toku). Vysvětlení relativně velké odchylky naměřených a vypočtených hodnot lze hledat zřejmě v nižší zádrži vzduchu uvnitř potrubí oproti zádrži uvnitř fermentoru.

Nepříznivý vliv zádrže vzduchu ve fermentační zápare na průtok značně omezoval chladič účinnost deskového výměníku a vedl ke zhoršování kultivačních podmínek ve fermentoru.

Řešení problému přinesla až úprava odtahu zápary z fermentoru z místa nejnižší zádrže [3, 4], tj. z prostoru ode dna fermentoru.

Za podmínek kultivace, kdy ve fermentoru byla zádrž vzduchu v rozmezí 52 až 54 %, byla měřena tlaková ztráta na deskovém výměníku, která činí při plném průtoku zápary 300 m³ · h⁻¹ asi 0,12–0,13 MPa.

Vliv zádrže vzduchu ve fermentačním médiu na čerpací schopnost čerpadel Sigma NFT je patrný z čerpacích charakteristik (proměřených na různých médiích) na obrázku 2. Při snížení zádrže na hodnoty kolem 30 % se dosáhly stabilní podmínky práce čerpadel blízké podmínkám čerpání vody.



Obr. 2. Charakteristiky čerpadel NFT Sigma při čerpání fermentační zápary (zádrž vzduchu v %) a vody

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| 1 — NFT 400 [voda] | 2 — NFT 400 [zápara 30%] |
| 3 — NFT 340 [voda] | 4 — NFT 340 [zápara 30%] |
| 5 — NFT 340 [zápara 50%] | 6 — NFT 400 [zápara 50%] |

4. VÝSLEDKY MĚŘENÍ KULTIVAČNÍHO TEPLA

V průběhu 72hodinové kapacitní zkoušky ověřovacího zařízení s fermentorem 200 m³ v Seliko Kojetín byl zvolen 10hodinový interval kontinuální kultivace, ve kterém se pečlivě sledovaly všechny potřebné hodnoty pro vyčíslení tepelné bilance fermentoru. Měrné kultivační teplo \dot{q}_K se vypočítalo ze vztahu

$$\dot{q}_K = \frac{\dot{Q}_K}{P_R} \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

ve kterém P_R představuje hodinovou produkci fermentoru 200 m³ v [kg a. s. h⁻¹] a kultivační teplo \dot{Q}_K [kW] bylo vypočítáno z tepelné bilance:

$$\dot{Q}_K = \dot{Q}_{CH} + \dot{Q}_Z + \dot{Q}_\phi - \Sigma P$$

kde \dot{Q}_{CH} [kW] je teplo odvedené chladicí vodou,

\dot{Q}_Z [kW] — tepelné ztráty sáláním, konvekcí a vedením do okolí,

\dot{Q}_ϕ [kW] — teplo odvedené nasycením vzduchu na 100% vlhkost ve fermentoru,

P [kW] — disipace mechanické a hydraulické energie ve fermentoru za jednotku času.

Střední hodnota měrného kultivačního tepla byla vyhodnocena

$$\dot{q}_K = 16\,478 \pm 848 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ a. s.}$$

pro technologii krmených bílkovin z ethanolu. Tato hodnota je, podobně jako měrné spotřeby kyslíku, resp. ethanolu [1] nižší než hodnoty uváděné v literatuře [5].

5. VÝSLEDKY MĚŘENÍ SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA NA DESKOVÉM CHLADIČI FERMENTAČNÍ ZÁPARY

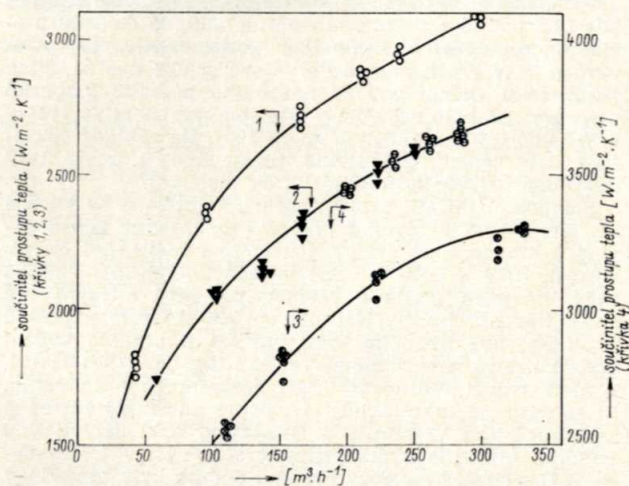
Deskový chladič CHS Chotěboř o výměnné ploše $S = 150 \text{ m}^2$ byl osazen na vstupech a výstupech vody i zápary rtuťovými teploměry a průtoky obou médií se snímaly indukčními průtokoměry. Z množství tepla odvedeného chladičem byly stanovovány hodnoty součinitele prostupu tepla k podle vztahu:

$$k = \frac{\dot{Q}_{CH}}{S \Delta t_{ln}}$$

Δt_{ln} je střední logaritmický spád teplot mezi záparou a chladicí vodou.

Experimentálně byl sledován vliv velikosti průtoku zápary a chladicí vody na velikost k . Současně byl sledován vliv zanášení chladiče na velikost k .

Výsledky měření jsou znázorněny na obrázku 3. Výrazný vliv průtoku fermentační zápary na velikost k je patrný z křivek 1 (5 h provozu), 2 (20 h provozu) a 3 (72 h provozu). Vzájemné posunutí křivek 1, 2, 3 bylo způsobeno zanášením výměníku na straně chladicí vody.



Obr. 3. Závislost součinitele prostupu tepla na parametrech médií

Vliv průtoku fermentační zápary: 1 — po 5 h provozu, 2 — po 20 h provozu, 3 — po 72 h provozu.
Vliv průtoku chladicí vody: 4 — po 5 h provozu.

Průtok chladicí vody byl udržován na hodnotě 165 m³·h⁻¹. Křivka 4 (splývající v obr. s křivkou 2) ukazuje významný vliv průtoku chladicí vody při konstantním průtoku fermentační zápary 300 m³·h⁻¹. Lze konstatovat, že při dostatečně vyčištěné chladicí vodě lze počítat s hodnotami součinitele prostupu tepla v rozmezí 2500 až 3000 W·m⁻²·K⁻¹.

Literatura

- [1] SEICHTER, P. - PEŠL, L. - SLÁMA, V. - VÍTEK, O. - MAZUCH, J.: Kvas. prům. 32, 1986, č. 9, s. 209.
- [2] KERN, R.: Hydrocarbon Processing, 10, 1969, s. 105.
- [3] MELICHAR, B.: Fermentor s vnitřním cirkulačním valem PV 301-84.
- [4] CALDERBANK, A. H. P.: Trans. Inst. Chem. Eng. 36, 1958, s. 443.
- [5] AIBA - HUMPHREY - MILLIS: Bioinženýrství, Academia, Praha 1972.
- [6] KVASNIČKA, J.: Chem. prům. 33/58, 1983, č. 7, s. 350.

Lektoroval Ing. L. Chládek, CSc.

Seichter, P. - Vitek, O. - Vašák, P. - Pěničik, K. - Pešl, L.: Chladicí okruh fermentoru 200 m³. Kvas. prům. 33, 1987, č. 3, s. 79—81.

Chladicí okruh fermentoru 200 m³ s odstředivými čerpadly Sigma typu NFT a deskovými výměníky Chotěbořských strojren Chotěboř prokázal, po připojení odtahu do místa nejnižší zádrže ve fermentoru, svoji plnou funkční schopnost.

Chod čerpadla a průtok fermentační zápary při zádrži vzduchu do 35 % je stabilní a tlaková ztráta na deskovém výměníku nepřesahuje při průtoku 300 m³·h⁻¹ 0,15 MPa.

Deskový chladič fermentační zápary vykazuje vysoké hodnoty součinitele prostupu tepla k nad 2500 W·m⁻²·K⁻¹.

Сейхтер, П. - Витек, О. - Вашак, П. - Пенчик, К. - Пешл, Л.: Цепь охлаждения ферментора 200 м³. Квас. прум. 33, 1987, № 3, с. 79—81.

Цепь охлаждения ферментора 200 м³ с центробежными насосами Сигма тип NFT и пластинчатыми обменниками Машиностроительного завода Хотёбож доказала, после присоединения вытяжного устройства в место наиболее низкой задержки в ферменторе, свою полную функциональную способность. Ход насоса и расход ферментационного затора при задержке воздуха до 35 % стабильный и потеря давления на пластинчатом обменнике не превышает при расходе 300 м³·ч⁻¹ — 0,15 МПа. Пластинчатый охладитель ферментационного затора показывает высокие значения коэффициента теплопередачи k свыше 2500 В·м⁻²·К⁻¹.

Seichter, P. - Vitek, O. - Vašák, P. - Pěničik, K. - Pešl, L.: Cooling Circuit of 200 m³ Fermenter. Kvas. prům. 33, 1987, No. 3, pp. 79—81.

The cooling circuit of the 200 m³ fermenter consists of centrifugal pumps (Sigma, type NFT) and plate exchangers (Machine Works Chotěboř). The best function of this circuit was achieved when the medium was taken off from the place with the lowest gas hold-up in the fermenter. The pump function and the broth discharge rate is constant with the hold-up of air up to 35 %. Under these conditions the pressure loss of the plate exchanger remains up to 0,15 MPa at the flow rate of 300 m³·h⁻¹. The plate exchanger used for the cooling has a high value of the heat transfer coefficient above 2500 W·m⁻²·K⁻¹.

Seichter, P. - Vitek, O. - Vašák, P. - Pěničik, K. - Pešl, L.: Der Kühlkreislauf des Fermentors 200 m³. Kvas. prům. 33, 1987, Nr. 3, S. 79—81.

Der Kühlkreislauf des Fermentors 200 m³ mit Zentrifugalpumpen Sigma Typ NFT und Plattenaustauschern der Firma Chotěbořské strojírny (CHEPOS) hat nach dem Anschluß des Abzugs auf die Stelle der niedrigsten Anhaltung im Fermentor seine volle Funktionsfähigkeit bestätigt.

Der Pumpenlauf und der Durchfluß der Fermentationsmaische bei einer Luftanhaltung bis 35 % ist stabil und der Druckverlust auf dem Plattenaustauscher ist beim Durchfluß von 300 m³·h⁻¹ nicht höher als 0,15 MPa. Der Plattenkühler der Fermentationsmaische weist hohe Werte des Wärmeübertragungskoeffizienten k über 2500 W·m⁻²·K⁻¹ auf.