

КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ

УДК 532.529

О.А. ШРАЙБЕР, д-р техн. наук, **І.В. АНТОНЕЦЬ**,
Інститут загальної енергетики НАН України,
вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03680, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ПОРОЖНИСТОГО СКРУБЕРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗІВ ВІД ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК

Складено повний перелік величин, що описують поведінку трифазової полідисперсної суміші у порожнистому скрубєрі. Згідно з досвідом експлуатації розпилювальних пристроїв визначено область пошуку оптимуму ефективності мокрої очистки газів від частинок та встановлено, що у досить широкому діапазоні густин зрошування і початкових швидкостей фаз оптимальні умови відповідають правій границі цієї області.

Ключові слова: скрубєр, трифазовий потік, краплі, тверді частинки, очистка газів від золи, ефективність.

Пилоугільні енергоблоки викидають в атмосферу величезну кількість леткої золи, що містить важкі метали, токсичні елементи та радіоактивні ізотопи. Тому пошук можливостей підвищення ефективності очистки димових газів від золи є важливою екологічною задачею. В нашій енергетиці значне поширення знайшли апарати для мокрої очистки димових газів, але вони не відповідають сучасним вимогам, хоча можливості покращення їх роботи ще далеко не вичерпані. Найбільш доцільний шлях розв'язання цієї задачі пов'язаний із математичним моделюванням робочого процесу в таких апаратах. Мабуть, найбільш обґрунтована і повна модель процесів переносу у трифазових полідисперсних потоках стосовно до мокрої очистки газів від золи була розроблена в [1], а досить широкі числові дослідження у цій галузі описано в [2]. Це повідомлення при-

свячено пошуку оптимальних умов роботи порожнистого скрубєра для очистки газів від золи.

Аналіз фізичної картини явищ переносу у трифазовому потоці дозволяє скласти повний перелік величин, що описують поведінку трифазової полідисперсної суміші у порожнистому скрубєрі. До цих величин відносяться:

а) фізичні властивості газу: густина ρ_g , динамічна в'язкість μ_g , питома теплоємність c_g , число Прандтля Pr_g , коефіцієнт теплопровідності λ_g і коефіцієнт дифузії водяної пари D_g ;

б) фізичні властивості твердої речовини: густина ρ_s та питома теплоємність c_s ;

в) фізичні властивості рідини: густина ρ_l , динамічна в'язкість μ_l , коефіцієнт поверхневого натягу σ і питома теплоємність c_l ;

г) фізичні властивості її пари: питома теплоємність c_v та теплота випаровування r ;

д) початкові швидкості газу u_{gf} , твердих частинок (ТЧ) U_{jf} та крапель u_{i0} (індекси 0 та f

© О.А. ШРАЙБЕР, І.В. АНТОНЕЦЬ, 2015

відносяться до верхнього і нижнього перетинів потоку);

е) початкові температури газу t_{gf} , ТЧ T_{jf} і крапель t_{i0} ;

є) густина пари у вихідному перерізі потоку ρ_{vf} ;

ж) загальна питома масова витрата ТЧ $\sum_j G_{jf}$ та їх фракційний склад Δ_{jf} , G_{jf} на вході;

з) те саме для крапель $\sum_i g_{i0}$, δ_{i0} , g_{i0} ;

и) висота апарата x_f ;

і) прискорення сили тяжіння g .

Звичайно, немає потреби шукати оптимальну точку у такому багатовимірному просторі (що, мабуть, і неможливо) через такі причини.

Оскільки деякі з перелічених величин сталі (g) або змінюються у дуже вузькому діапазоні, і ми не можемо міняти довільно характеристики димових газів та леткої золи, з переліку можна виключити пп. (а) – (г), (є), (ж) та (і), а також t_{gf} , T_{jf} (із фізичних міркувань тут можна прийняти $T_{jf} = t_{gf}$). Крім того, слід вважати заданою початкову температуру t_{i0} (п. (є)).

Таким чином, якщо прийняти $U_{jf} = u_{gf}$ приходимо до висновку, що характеристики процесу визначаються такими параметрами: x_f , u_{gf}

u_{i0} (залежністю від i можна нехтувати), $\sum_i g_{i0}$

та величинами, що описують фракційний

склад крапель.

Як було встановлено в [2], чотири із перелічених параметрів впливають на величину η *монотонно*: ефективність процесу зростає зі

збільшенням $\sum_i g_{i0}$, δ_{i0} , g_{i0} та зменшенням

початкової швидкості газу.

Таким чином, видається доцільною така постановка задачі оптимізації роботи порожнистого скрубера:

- для заданих умов вибираємо реальні (підтвержені практикою) значення x_f , u_{gf} , u_{i0} та

суми $\sum_i g_{i0}$;

- вибираємо обґрунтовану апроксимацію фракційного складу ансамблю крапель, що містить N параметрів y_n (звичайно 3 – 4);

- в N -вимірному (факторному) просторі цих параметрів шукаємо точку, що забезпечить максимальну ефективність уловлювання.

Випробування найбільш поширених відцентрових форсунок в Інституті загальної енергетики НАН України [3] показало, що масова диференціальна функція розподілу крапель за розмірами має вигляд

$$f(\delta) = A \delta b \exp(-c\delta), \quad (1)$$

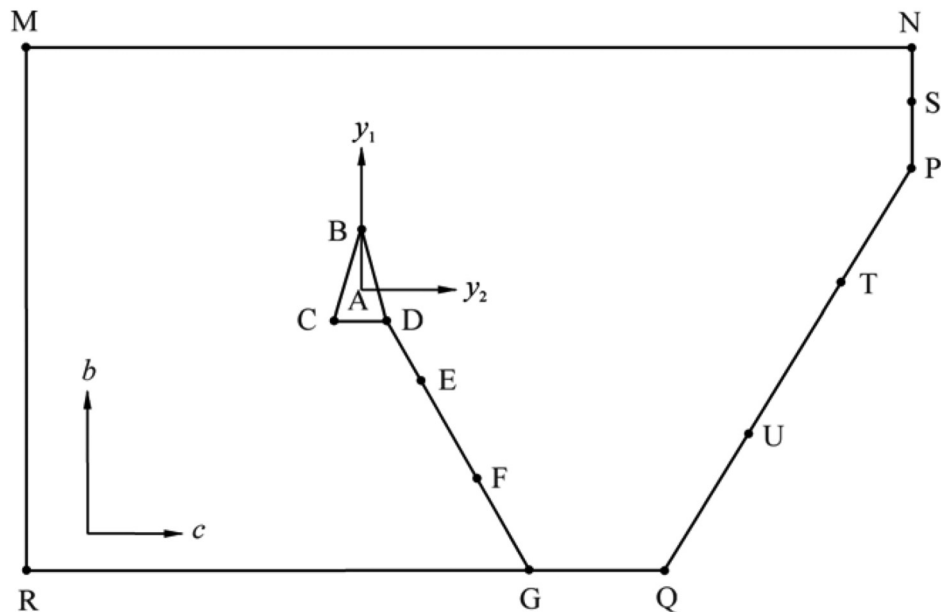


Рис. Область пошуку оптимуму в координатах $b - c$

Таблиця – Результати розрахунків у серіях II – IV

Номер серії	Точка					
	A	M	N	P	Q	R
II	99,632	99,693	99,795	99,812	99,791	99,61
III	98,682	98,854	99,130	99,179	99,138	98,718
IV	99,517	99,578	99,715	99,736	99,717	99,517

де A – нормувальний множник. Отже, $N = 4$ (b , c , δ_{\min} , δ_{\max}), але, як показали розрахунки, δ_{\min} впливає досить слабо, а $\delta_{\max} = 3,9 (b/c)^{-1,1}$, і тому маємо $N=2$.

Аналіз досвіду експлуатації розпилювальних пристроїв, а також результатів експериментів [3] показав, що параметри розподілу набувають значення у таких межах: $b = 1,67 - 2,1$; $c = 1,05 - 2,5 \text{ мм}^{-1}$; $b/c = 0,8 - 2 \text{ мм}$. Таким чином, область пошуку має вигляд п'ятикутника MNPQR, зображеного на рисунку. Координати кутових точок (b , c) такі: M (2,1; 1,05); N (2,1; 2,5); P (2; 2,5); Q (1,67; 2,09); R (1,67; 1,05).

Пошук оптимальних значень b і c реалізуємо при фіксованих значеннях x_f , u_{gf} , u_{i0} (залежність η від цих величин монотонна, див. вище). Але оскільки на практиці ці величини набувають значення у певних діапазонах, видається доцільним провести пошук оптимуму в кількох варіантах при різних їх значеннях. Розглянемо спочатку результати обчислень, проведених при $u_{gf} = -0,7 \text{ м/с}$;

$$\sum_i g_{i0} = 0,7 \text{ кг/(м}^2\text{с)}; u_{i0} = 2,5 \text{ м/с}; x_f = 4 \text{ м}$$

(серія I). Розміри фракцій ТЧ у всіх варіантах приймалися рівними 5; 10; 20; 30; 40 мкм, а їх питомі витрати – $0,4 \cdot 10^{-3}$; $0,6 \cdot 10^{-3}$; 10^{-2} ; $0,6 \cdot 10^{-3}$ та $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$.

На першому етапі алгоритм крутого сходження від т. А на рисунку із координатами (1,9; 1,6) привів на нижню границю області пошуку (точка G) із ККД 98%. Тому на другому етапі було обчислено ефективність уловлювання в кутових точках області пошуку. Було встановлено, що максимальна ефективність уловлювання досягається на правій границі області, у точці P (98,65 %, що не можна вважати задовільним). Тому було проведено три додаткові серії числових експериментів, результати яких (η у %) наведено у таблиці. У серії II приймалося $u_{gf} = -0,7 \text{ м/с}$;

$$\sum_i g_{i0} = 1,4 \text{ кг/(м}^2\text{с)} \text{ (тобто витрата рідини вдвічі}$$

більша від серії I); у серії III – $u_{gf} = -1,1 \text{ м/с}$;
 $\sum_i g_{i0} = 1,1 \text{ кг/(м}^2\text{с)}$; у серії IV – $u_{gf} = -1,1 \text{ м/с}$;

$$\sum_i g_{i0} = 1,65 \text{ кг/(м}^2\text{с)}.$$

Як видно, характер залежності η від положення точки на рисунку такий самий, як і в серії I. Звичайно, підвищення питомого зрошування дозволяє істотно збільшити ефективність уловлювання.

Отримані результати свідчать про те, що оптимізація приводить до істотного покращення процесу уловлювання. Якщо у серії I вибрати для порівняння точку в центрі області пошуку, то оптимізація дозволить зменшити викиди частинок в атмосферу у $(100 - \eta(A))/(100 - \eta(P)) \approx 1,52$ раза.

ВИСНОВКИ

Складено повний перелік величин, що описують поведінку трифазової полідисперсної суміші у порожнистому скрубери. Оскільки деякі з цих величин стали або змінюються у дуже вузькому діапазоні, а певні групи величин задаються для конкретної теплоенергетичної установки або впливають на ефективність уловлювання монотонно, оптимальні умови уловлювання відшукувались у координатах $b - c$ (див. формулу (1)). Згідно з досвідом експлуатації розпилювальних пристроїв визначено область пошуку оптимуму та встановлено, що у досить широкому діапазоні густин зрошування та початкових швидкостей фаз оптимальні умови відповідають правій границі цієї області, де мода розподілу мінімальна. Для одного із числових експериментів оптимізація дозволяє зменшити викиди частинок в атмосферу у $\approx 1,52$ раза.

1. *Шрайбер О.А.* Моделювання процесу мокрої очистки димових газів від леткої золи / О.А. Шрайбер, І.В. Федінчик // Пром. теплотехніка. – 2012. – Т. 34, № 3. – С. 86 – 92.
2. *Федінчик І.В.* Вплив режимних параметрів на ефективність мокрої очистки димових газів від частинок золи / І.В. Федінчик // Проблеми загальної енергетики. – 2013. – Вип. 1 (32). – С. 50 – 54.
3. *Шрайбер О.А.* Оптимізація режиму охолодження циркуляційної води у бриз-

кальних градирнях / О.А. Шрайбер, В.В. Дубровський, О.М. Підвисоцький, К.О. Шрайбер // Проблеми загальної енергетики. – 2007. – № 16. – С. 81 – 86.

Надійшла до редколегії: 22.04.2016