

УДК 681.3:665.66

В.С. Шевчук, к.т.н., проф.
С.О. Пузік, к.т.н., доц.
В.С. Манзій, к.т.н., доц.
В.О. Закревський, к.т.н., доц.

РЕГЕНЕРАЦІЯ ПОВЕРХНІ ОСАДЖУВАННЯ ЗАБРУДНЕНЬ В ІНЕРЦІЙНИХ ОЧИСНИКАХ

Наведено результати аналітичних досліджень регенерації осаджувальних поверхонь очисників інерційного типу. Запропоновано методику оцінювання тертя ковзання та кочення окремих частинок забруднення.

The analytical studies results of regeneration of precipitated surfaces of accelerative type cleaners are given. Proposed method allows to appreciate the influence both sliding friction and rolling friction of discrete pollution parts.

Постановка проблеми

Ефективність роботи очисників після накопичення в них забруднень до певної межі знижується і може бути відновлена методом регенерації відновлення працездатності очисника, тобто очищення поверхні осаджувальних поверхонь очисника від забруднень.

Ще у 1927 р. інженер із Дортмунда (Німеччина) Ерік Хютер заявив патент, в якому запропонував осаджувальні поверхні звільняти від забруднень механічними засобами, наприклад, струсом, здуванням, зрошенням або зішкрябуванням.

Існуючі способи регенерації очисників передбачають їх розбирання, очищення поверхні осаджувальних пластин звичайною щіткою з подальшим промиванням у технічній ванні й осушенням на поверхні.

Як миючі засоби можна, зокрема, використовувати воду або деякі розчини на її основі.

Відомий метод протитечійного промивання, який полягає в прокачуванні чистого палива через очисник у зворотному напрямку, неефективний під час промивання такого очисника через те, що змитий бруд знову потрапить в резервуар з чистою рідиною [1].

Мета дослідження – аналітично з'ясувати принципіву можливість промивання (регенерації) очисника інерційного типу за допомогою деяких мийних засобів, визначити тривалість процесу промивання з погляду максимального очищення поверхонь від забруднень, потрібну кількість мийного засобу та порівняти ефективність різних мийних засобів.

Необхідні умови для здійснення регенерації поверхонь очисників

Конструкція очисника, запропонована авторами в роботі [2], являє собою пустотілу гвинтову спіраль, яку можна виготовляти із стандартної труби.

Під час промивання такого очисника необхідно, щоб сила взаємодії між окремою частинкою забруднення та мийним засобом (так звана стоксовська сила) перевищувала сили тертя ковзання та кочення між частинкою та поверхнею шару осаджених частинок. Лише тоді буде відбуватись послідовне змивання частинок забруднення із вказаної поверхні, яка невпинно буде очищатись. У загальному вигляді вказану умову можна подати, згідно з роботою [2], у вигляді нерівності

$$F_c \geq F_T, \quad (1)$$

де

F_c – стоксовська сила:

$$F_c = \frac{24Qd_r \nu \rho}{d_b^2} \left[1 - \frac{4y^2}{d_b^2} \right], \quad (2)$$

Q – витрати рідини за одиницю часу;

d_r – діаметр кульки, якою умовно вважають частинку забруднення;

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості мийного засобу;

ρ – густина мийного засобу;

d_b – внутрішній діаметр очисника;

y – відстань від осі каналу до поверхні шару, як показано на рис. 1;

F_T – сила тертя ковзання або сила тертя, яка виникає під час кочення:

$$F_T = f(\rho_r - \rho) \frac{\pi(d_r)^3}{6} g; \quad (3)$$

$$F_T = \frac{2f_k}{d_r} (\rho_r - \rho) \frac{\pi(d_r)}{6} g, \quad (4)$$

f – коефіцієнт тертя ковзання;

ρ_r – густина частинок забруднення;

g – прискорення вільного падіння: $g = 981 \text{ см/с}^2$;

f_k – коефіцієнт тертя кочення.

Ці сили F_T створюються силами ваги G частинок забруднення та архімедовими силами F_a (рис. 1).

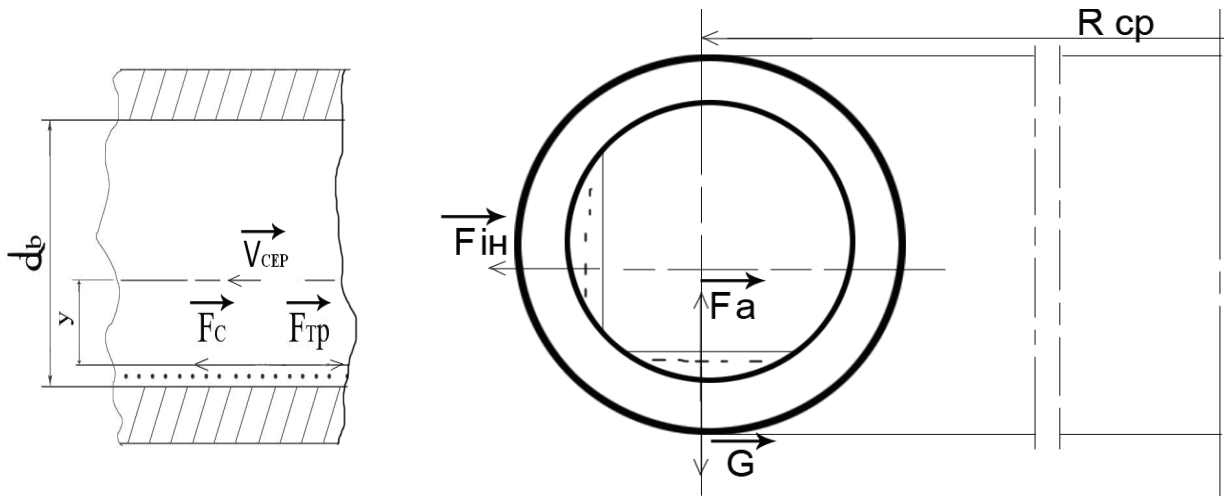


Рис. 1. Схема сил та лінійних розмірів перерізу очисника

Теоретично на частинки забруднення мають діяти і відцентрові сили інерції, рівнодійна яких позначена $\vec{F}_{ін}$, і які, притискуючи окремі частинки забруднення до бокової стінки очисника, також повинні створювати бокові сили тертя:

$$F_{ін} = \frac{mV_{сеп}^2}{R_{сеп}},$$

де

$$V_{сеп} = \frac{4Q}{\pi d_b^2}.$$

Тобто

$$F_{ін} \approx \frac{\pi d_r^3}{6R_{сеп}} \rho_r g \left(\frac{4Q}{\pi d_b^2} \right)^2.$$

Наприклад, $F_{ін} \approx 0,000038$ дин, для

$$d_r = 0,005 \text{ см},$$

$$\rho_r = 3 \text{ г/см}^3,$$

$$Q = 50 \text{ см}^3/\text{с},$$

$$d_b = 5,3 \text{ см},$$

$$R_{сеп} = 26 \text{ см}.$$

Завдяки їй частина забруднення досягне бічної поверхні каналу.

Викликана нею сила тертя ковзання за $f = 0,6$ дорівнюватиме

$F_{тр} = 0,0000228$ дин, а різниця сил ваги і архімедової сили

$$G - F_a = \frac{\pi d_r^3}{6} (\rho_r - \rho) g,$$

наприклад, за $\rho_r = 1 \text{ г/см}^3$ дорівнюватиме $G - F_a = 0,00013$ дин, тобто у 5,7 разів перевищує

силу тертя, викликану силами інерції. Це означає, що ця частина частинок забруднення спустатиметься донизу і приєднуватиметься до решти, що встигли осісти на дні каналу. Тому подальші розрахунки проводились саме для такого сумарного забруднення.

Якщо послідовно підставити вирази (2) і (3) та (2) і (4) в нерівність (1), то відповідно матимемо:

$$\frac{24Qd_r \nu \rho}{d_b^2} \left[1 - \frac{4y^2}{d_b^2} \right] \geq f(\rho_r - \rho) \frac{\pi d_r^3}{6} g;$$

$$\frac{24Qd_r \nu \rho}{d_b^2} \left[1 - \frac{4y^2}{d_b^2} \right] \geq \frac{2f_k}{d_r} f(\rho_r - \rho) \frac{\pi d_r^3}{6} g.$$

Отже, витрата рідини за одиницю часу Q буде тим параметром, яким можна впливати на процес промивання.

Розв'язавши отримані нерівності відносно Q , матимемо відповідно:

$$Q_{ковз} \geq \frac{f(\rho_r - \rho) \pi d_r^2 g d_b^4}{576 \nu \rho \left(\frac{d_b^2}{4} - y^2 \right)}; \quad (5)$$

$$Q_{коч} \geq \frac{f_k(\rho_r - \rho) \pi d_r^2 g d_b^4}{288 \nu \rho \left(\frac{d_b^2}{4} - y^2 \right)}. \quad (6)$$

Для того, щоб з'ясувати, яку з формул (5), (6) потрібно застосовувати, слід їх порівняти, тобто знайти

$$\frac{Q_{ковз}}{Q_{коч}} = \frac{fd_r^2 \cdot 288}{576d_r f_k} = \frac{fd_r \cdot 288}{576f_k} = \frac{fd_r}{2f_k}.$$

У результаті при $f = 0,6$, $f_k = 0,00055$, $d_r = 0,005$ см маємо

$$\frac{Q_{\text{ковз}}}{Q_{\text{коч}}} = \frac{0,6 \cdot 0,005}{2 \cdot 0,00055} = 2,727,$$

тобто стоксівська сила повинна здолати силу тертя ковзання, а отже, розрахунки слід проводити за формулою (5).

Приклад розрахунку процесу регенерації поверхонь осаджування забруднених очисників

Для визначення товщини шару забруднення, яке виникло в очиснику в процесі його експлуатації, необхідно скористатися отриманою авторами в роботі [3] формулою з урахуванням тертя ковзання:

$$y_{\text{ковз}} \geq \sqrt{\frac{(d_b)^2}{4} - \frac{f(\rho_r - \rho_n)\pi(d_r)^2 g(d_b)^4}{576\nu\rho_n Q}},$$

де ρ_n – густина нафтопродукту, який підлягає очищенню.

Для $\rho_n = 0,78$ г/см³,

$\nu = 0,014$ ст, $Q = 7$ см³/с, $\rho_r = 3$ г/см³,

$d_r = 0,005$ см, $d_b = 5,3$ см, $y_{\text{коч}} = 2,27$ см.

Товщина шару забруднення дорівнює

$$\frac{d_b}{2} - 2,27 = 2,65 - 2,27 = 0,38 \text{ см}.$$

Розрахунки проводились для значень $y = (2,35; 2,41; 2,47; 2,53; 2,59; 2,645)$ см. Схему відстаней для знаходження ступенів промивання показано на рис. 2.

Якщо вважати, що шар забруднень, які осіли в каналі пристрою, являє собою в перерізі сегмент з хордою AB і висотою CD , що дорівнює товщині h шару забруднень, то механізм промивання каналу пристрою можна розглядати як послідовне змивання кожної смужки, на які умовно можна поділити увесь шар хордами, паралельними хорді AB . Очевидно, що ступінь промивки буде пропорційною площі видалених смужок.

Наприклад, якщо кількість смужок дорівнює 6, то, як відомо з геометрії, площа першої смужки, рахуючи знизу, дорівнюватиме різниці площ сектора $OaDb$ і трикутника Oab , тобто

$$S_6 = \frac{\pi \cdot OD^2 \cdot \alpha^\circ}{360^\circ} - \frac{1}{2} ab \cdot od.$$

Площа двох смужок, рахуючи знизу, буде:

$$S_6 + S_5 = \frac{\pi \cdot OD^2 \cdot \beta^\circ}{360^\circ} - \frac{1}{2} ef \cdot og \text{ і т. п.}$$

Нарешті площі загального сегмента:

$$S_6 + S_5 + \dots + S_1 = S = \frac{\pi \cdot OD^2 \cdot \beta^\circ}{360^\circ} - \frac{1}{2} AB \cdot OC.$$

Тепер нескладно обчислити площу кожної зі смужок окремо, наприклад, для крайньої верхньої вона дорівнюватиме

$$S_1 = S - (S_6 + S_5 + S_4 + S_3 + S_2),$$

для двох верхніх:

$$S_1 + S_2 = S - (S_6 + S_5 + S_4 + S_3) \text{ і т. п.}$$

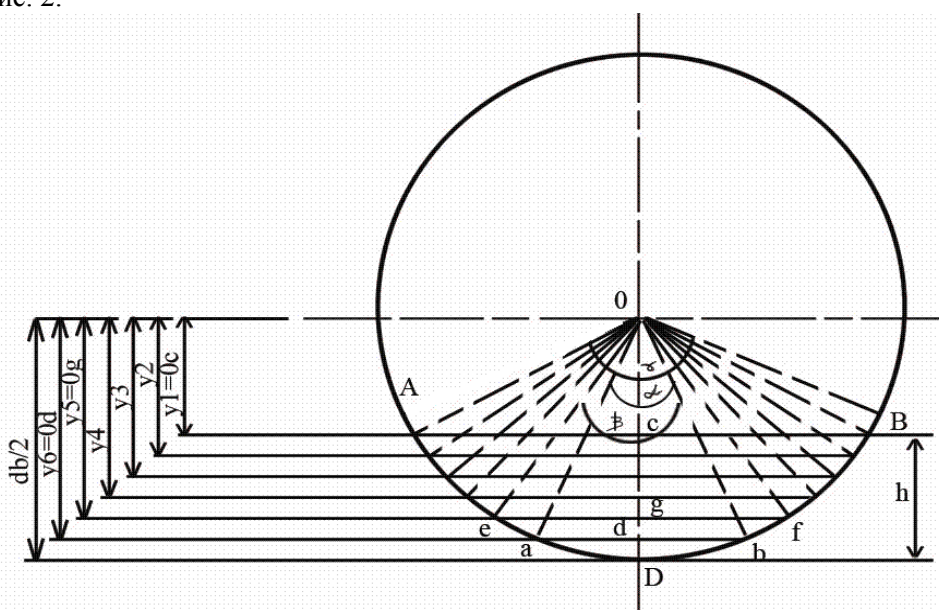


Рис. 2. Розрахункова схема для знаходження ступенів регенерації

Ефективність промивання очисників залежно від виду мийного засобу

Рідина	ρ , г/см ³	v , ст	Очищен- ня, %	Q , см ³ /с
Вода	1	0,01	24,2	8,4
			46,3	10,4
			65	13,8
			81,3	22,6
			94,1	40,8
АФТ-1	0,953	0,052	24,2	1,73
			46,3	2,14
			65	2,84
			81,3	4,65
			94,1	8,4
АФТ-2	1,1	0,08	24,2	0,52
			46,3	0,64
			65	0,85
			81,3	1,4
			94,1	2,53
Ацетон	0,798	0,041	24,2	2,82
			46,3	3,5
			65	4,6
			81,3	7,6
			94,1	13,7
ТВН	0,87	0,851	24,2	0,12
			46,3	0,15
			65	0,2
			81,3	0,32
			94,1	0,58
			99,1	6,8

Це дає змогу визначити ступінь промивання залежно від кількості змитих смужок, рахуючи зверху. Наприклад, у результаті змивання верхньої смужки ступінь промивання дорівнюватиме $\frac{S_1}{S} \cdot 100\%$, перших двох верхніх смужок дорів-

нюватиме $\frac{S_1 + S_2}{S} \cdot 100\%$ і т. п.

Розрахунки (за формулою (5)) проводились для $\rho_r = 3$ г/см³, $d_r = 0,005$ см, $d_b = 5,3$ см, $R_{\text{сер}} = 26$ см, $f = 0,6$, $f_k = 0,0055$ см.

Результати розрахунків наведено в порівняльній таблиці.

Знаючи кількість витків n (розглядалось $n = 10$), можна визначити час t промивання та витрати мийного засобу в літрах.

Висновки

1. Регенерація очисника інерційного типу розглянутими мийними засобами принципово можлива.
2. Аналітично обгрунтовані переваги застосування мийного засобу ТВН, причому ступінь очищення поверхні осаджування в очисниках від забруднень до 94,1 % є достатньою для практичного застосування, а щодо витрат мийних засобів за одиницю часу, можна обмежитись ступенем очищення до 81,3 %.
3. Вирішальним у регенерації поверхні осаджування забруднень в інерційних очисниках є подолання тертя ковзання частинками забруднень.

Література

1. Пузік С.О. Розробка гравітаційного очисника авіаційних палив: автореф. дис.... канд. техн. наук. – К., 1999. – 189 с.
2. Терьохін В.І., Пузік С.О., Манзій В.С., Шевчук В.С. Дослідження ефективності застосування циклонів та гравітаційних очисників рідин // Міжнар. НТК "Авіа 2001". – К.: НАУ, 2001. – С. 14.117–14.119.
3. Шевчук В.С., Пузік С.О., Манзій В.С., Терьохін В.І. Визначення товщини шару забруднення, що виникає в очисниках інерційного типу // Міжнар. НТК "Авіа 2003". – К.: НАУ, 2003. – С. 43.69–43.72.

Стаття надійшла до редакції 27.10.08.