

УДК 621.225.001.1

## **ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГРАВІТАЦІЙНОГО ОЧИСНИКА РОБОЧИХ РІДИН**

### **INFLUENCE OF FLOW PASSAGE DESIGN ON THE EFFICIENCY OF A GRAVITY CLEANER FOR WORKING LIQUIDS**

**А. А. Волошина**, *д-р техн. наук*, **А. І. Панченко**, *д-р техн. наук*,

**В. В. Рожнятовський**

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

**А. І. Засядько**

*ВСП «Бердянський фаховий коледж Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного»*

***Анотація.** Статтю присвячено дослідженню процесів очищення робочих рідин від твердих механічних домішок із використанням гравітаційних очищувачів. Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення надійності та ресурсу гідравлічних систем промислового обладнання і самохідної техніки, ефективність яких значною мірою визначається чистотою робочих рідин. Наявність твердих частинок у робочому середовищі призводить до інтенсивного зношування елементів гідроагрегатів і погіршення їх експлуатаційних характеристик. Виконано аналіз конструкцій гравітаційних очищувачів, які класифіковано за кінематичним станом очищуваної рідини на очищувачі статичної, періодичної та динамічної дії. Показано, що гравітаційні методи очищення характеризуються простотою конструкції та низькою енергоємністю, однак їх ефективність знижується при очищенні в'язких робочих рідин. Основну увагу приділено дослідженню руху твердої частинки у в'язкій рідині під дією гравітаційного поля з урахуванням сил тяжіння, Архімеда та в'язкісного опору. Отримано аналітичні залежності для визначення швидкості усталеного осідання та часу неусталеного руху частинок. Показано, що час розгону частинки є незначним порівняно із загальним часом осадження, що дозволяє використовувати швидкість усталеного руху при інженерних розрахунках. На основі розрахункових даних встановлено вплив розмірів і густини частинок, а також в'язкості робочої рідини на тривалість осадження та продуктивність гравітаційних очищувачів. Сформульовано рекомендації щодо підвищення якості очищення шляхом зменшення висоти шару рідини, збільшення площі осаджувальної поверхні та оптимізації конструкції очищувачів.*

***Ключові слова:** робоча рідина, тверда частка, гідро-очисник, гравітаційне поле, в'язкість відстійник, осадження частинок, седиментація частинок.*

### **Вступ**

Ефективність роботи гідравлічних систем сучасної техніки та промислового обладнання значною мірою залежить від якості робочої рідини, що виконує функції передавання енергії, змащування пар тертя та охолодження. Забруднення робочих рідин твердими механічними частинками призводить до інтенсифікації зношування компонентів, зниження надійності та ресурсу гідросистем, а також до підвищення частоти технічних відмов. Крім того, забруднення негативно впливає на гідродинамічні характеристики систем і може спричиняти локальні турбулентні явища, що ускладнює прогнозування поведінки робочої рідини у вузлах гідропроводів. За даними технічних досліджень, недостатня чистота робочої рідини є одним із основних факторів відмов у гідросистемах сільськогосподарської техніки та промислових агрегатів, і може скорочувати ресурс обладнання в 1,5–10 разів порівняно з чистими умовами експлуатації [1].

Для зменшення негативного впливу механічних домішок використовують різні методи очищення робочих рідин, серед яких слід виділити гравітаційні сепаратори та фільтраційні

системи грубого та тонкого очищення. Гравітаційні методи базуються на седиментації твердих частинок під дією гравітаційних сил, що забезпечує їх відділення від рідини без складних конструктивних елементів або високих енерговитрат. Такі пристрої характеризуються простотою конструкції та економічною ефективністю, але їх використання у високов'язких середовищах та при наявності дрібнодисперсних частинок залишається складним через тривалий час седиментації й значний вплив реологічних властивостей рідини на швидкість осідання частинок.

Наукові дослідження руху твердих частинок у в'язких рідинах за умов гравітаційного поля показали складну залежність між швидкістю осідання, формою частинок та реологічними характеристиками середовища. Комп'ютерні та фізичні експерименти, зокрема з використанням CFD-DEM моделювання, дозволяють прогнозувати траєкторії руху й зони відкладення частинок у резервуарах і гідросистемах [2]. Водночас фундаментальні роботи з чисельного моделювання седиментації сферичних та нефірмових частинок у в'язких середовищах поглиблюють розуміння взаємодії між частинками та потоком рідини, що необхідно для оптимального проєктування систем очищення [3].

Таким чином, вдосконалення методів гравітаційного очищення робочих рідин із урахуванням фізико-динамічних властивостей процесу осідання частинок є актуальним завданням прикладної гідравліки. Результати таких досліджень мають практичне значення для підвищення надійності, довговічності та ефективності експлуатації гідросистем як у промислових, так і в мобільних застосуваннях.

### Аналіз останніх досліджень

У сучасних дослідженнях фізика осідання частинок під дією гравітації у в'язких та реологічно складних середовищах залишається центральною темою, що поєднує фундаментальні та прикладні аспекти гідравліки, мультифазних течій і сепараційних технологій. Зокрема, розробка точних моделей для прогнозування швидкості осідання, взаємодії частинок з середовищем та колективних ефектів є критичною для підвищення ефективності гравітаційних сепараторів у техніці й екологічних процесах.

Одне з новітніх напрямів досліджень присвячене уточненню класичних моделей осідання частинок у колонках ураження, зокрема визначення залежності між локальною концентрацією частинок і їх реальною швидкістю осідання. Встановлено [4], що у розріджених хмарах частинок середня швидкість може суттєво відрізнятись від класичної швидкості Стокса, що впливає на оцінювання густини та розподілу фракцій у природних та промислових потоках.

Традиційні методи обчислювальної гідродинаміки (CFD), незважаючи на їх широке застосування, мають суттєві обмеження у плані дозволу взаємодії рідини та структури на рівні пір та обліку колективної поведінки щільно упакованих частинок в обмежених геометричних формах. Традиційні ейлерові підходи, засновані на сітці, часто надмірно спрощують перебіг рідини, що залежить від пористості, або ігнорують ефекти двонаправленого зв'язку, що призводить до неточностей у прогнозуванні перенесення частинок, утворення осаду та гідродинамічного екранування [5–7].

Коли одна частка осідає в рідині, баланс між опором і гравітаційними силами дозволяє їй досягти постійної граничної швидкості осідання. Однак у міру збільшення кількості частинок або об'ємної частки твердих частинок у суспензії гідродинамічні взаємодії між частинками перешкоджають їх осіданню, в результаті чого осідають частинки зі швидкістю нижче граничної. Теоретичні прогнози описували [8] середню швидкість осідання частинок у суспензії, проте ці прогнози застосовні тільки до дуже розбавленим, статистично однорідним суспензіям в умовах течії Стокса. При перевищенні межі розведення частки взаємодіють з кількома сусідніми частинками за допомогою гідродинамічних сил та зіткнень, утворюючи динамічні мікроструктури. Ці мікроструктури призводять до коливань швидкості окремих

частинок навколо середньої швидкості осадження, що впливає на загальну поведінку при осіданні.

Експериментальні дослідження також приділяють увагу осіданню кількох частинок одночасно: процеси взаємодії між частинками (repulsion, clustering) суттєво змінюють траєкторії й локальні швидкості руху частинок порівняно з ізольованим випадком [9]. Ці результати можуть допомогти краще зрозуміти складніші явища, такі як процес осідання групи частинок та перенесення наносів.

Крім того, широке коло досліджень присвячено багатофазним течіям у контексті осідання та гравітаційної сепарації у технічних системах, таких як відстійники, гідравлічні сепаратори та багатофункціональні пристрої для очищення робочих рідин. Запропоновано метод [10], який можна застосувати до інших багатофазних потоків, характеристики яких можна описати за допомогою функції густини ймовірності, що змінюється в залежності від глобальних параметрів керування. До таких потоків відносяться розподіл крапель за розмірами в резервуарах-відстійниках та статичних змішувачах.

Отже, сучасні дослідження демонструють важливість переходу від ідеалізованих моделей осідання до комплексних багатофакторних підходів, що враховують реологію середовища, взаємодії частинок, геометричні обмеження та колективну поведінку. Такий підхід є кроком до створення більш ефективних гравітаційних сепараторів із прогнозованими характеристиками для промислового та природного застосування.

### Основний матеріал дослідження

В основі процесу очищення робочих рідин від твердих частинок домішки за допомогою гравітаційних очищувачів лежить закон гравітації, що полягає у впливі сили тяжіння на частинку домішки, під дією якої дана частка здійснює рух у певному середовищі до осадової поверхні. Характеристичним параметром, що визначає продуктивність даних пристроїв, є швидкість руху частинки до поверхні осаду.

Основна перевага даного методу полягає у відносній простоті конструктивного втілення даного методу, але в той же час значним недоліком є великі витрати часу на проведення відстоювання часток забруднень у в'язких робочих рідинах.

Інтенсифікувати процес седиментації частинок у в'язкій рідині можливо шляхом застосування технологічних та конструктивних факторів. Для зниження часу осадження домішок використовують підігрів рідини для зниження її в'язкості. Однак застосування підігріву в'язкої робочої рідини може викликати появу такого негативного чинника як конвекційні струми. Причиною появи цього фактору може стати неоднорідність температурного поля при нагріванні чи охолодженні резервуара – відстійника. Частково знизити вплив даного фактора можливо, застосовуючи різні технічні рішення в апаратах удосконаленої конструкції, скорочуючи тривалість відстоювання.

Аналіз конструкції гравітаційних очищувачів показав, що за ознакою кінематичного стану продукту, що очищається, їх можна розділити на наступні типи:

#### *Гравітаційні очищувачі статичної дії.*

Осадження частинок домішки в очищувачі такого типу відбувається за відсутності руху рідини або її шарів (за винятком конвекційних струмів). Даний тип представлений відстійником періодичної дії із сифонною трубою (рис. 1, а). Послідовність операцій при очищенні полягає в тому, що забруднена робоча рідина надходить у відстійник на початку циклу. Видача очищеної робочої рідини та видалення забруднень відбувається після закінчення циклу. Перевага даних пристроїв полягає у простоті конструкції та легкості експлуатації. Недоліком є тривалість очищення, отже низька продуктивність.

Відстійник періодичної дії з плаваючим приймачем (рис. 2) також відноситься до гравітаційних очисників статичної дії.

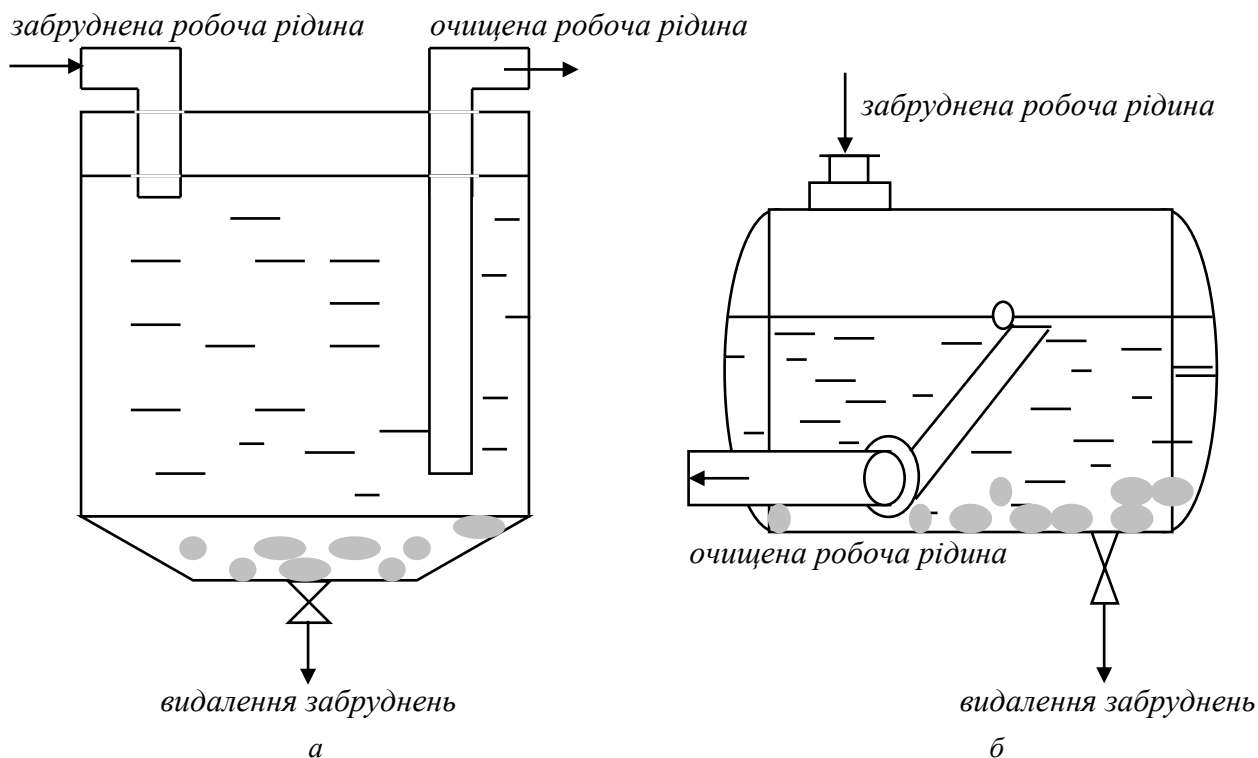


Рисунок 1 – Схема роботи відстійника періодичної дії:  
а – з сифонною трубою; б – з плаваючим приймачем

*Гравітаційні очищувачі періодичної дії.*

В очищувачах такого типу осадження часток відбувається при періодичному русі рідини або її шарів. До цих очисників належать відстійники напівбезперервної дії (рис. 2, а) та відстійники з похилими перегородками (рис. 2, б). Технологія очищення в даному випадку передбачає надходження забрудненої робочої рідини та видачу очищеної робочої рідини безперервно, а видалення забруднення виконують періодично.

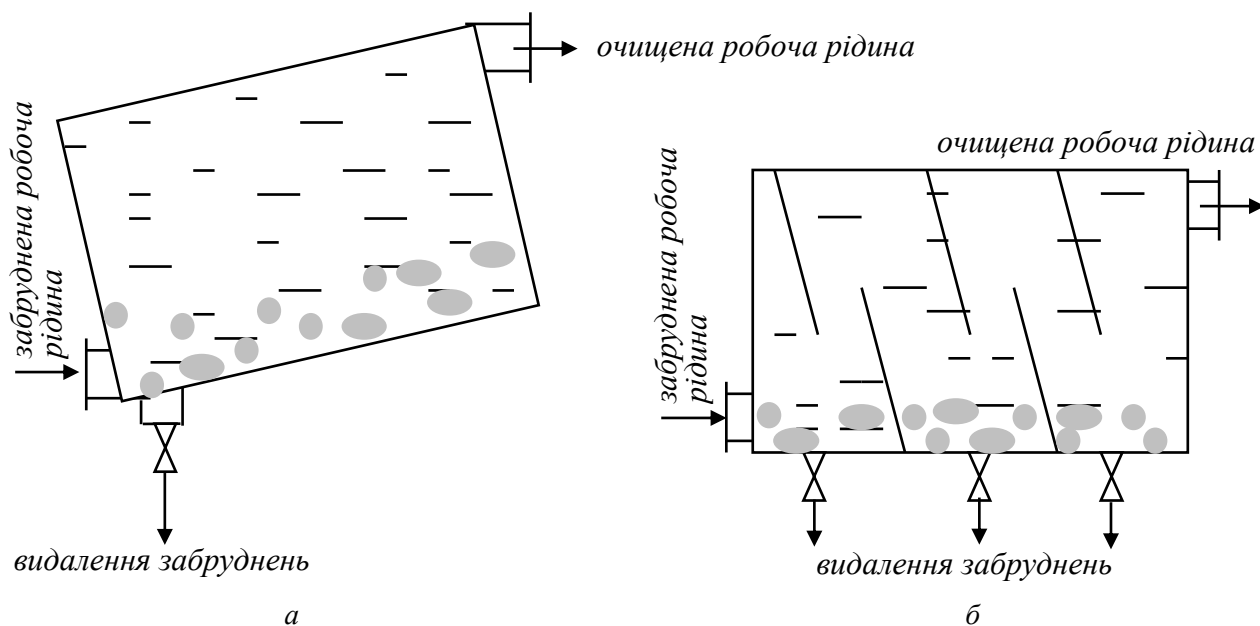


Рисунок 2 – Схема роботи відстійника напівбезперервної дії:  
а – без перегородок; б – з похилими перегородками

Перевага даного типу очищувачів полягає в тому, що існує можливість безперервної видачі очищеної робочої рідини, а недоліки полягають у тому, що при значних габаритних розмірах очищувача у нього низький ступінь очищення, а також підвищена швидкість потоку, при якій можливе винесення забруднень.

*Гравітаційні очищувачі динамічної дії.*

Осадження частинок в очищувачах даного типу відбувається у процесі безперервного руху рідини. Даний тип очищувачів поєднує відстійники безперервної дії з використанням різних конструкцій проточних частин та додаткових пристроїв: з гребковою мішалкою (рис. 3, а) та конічними тарілками (рис. 3, б).

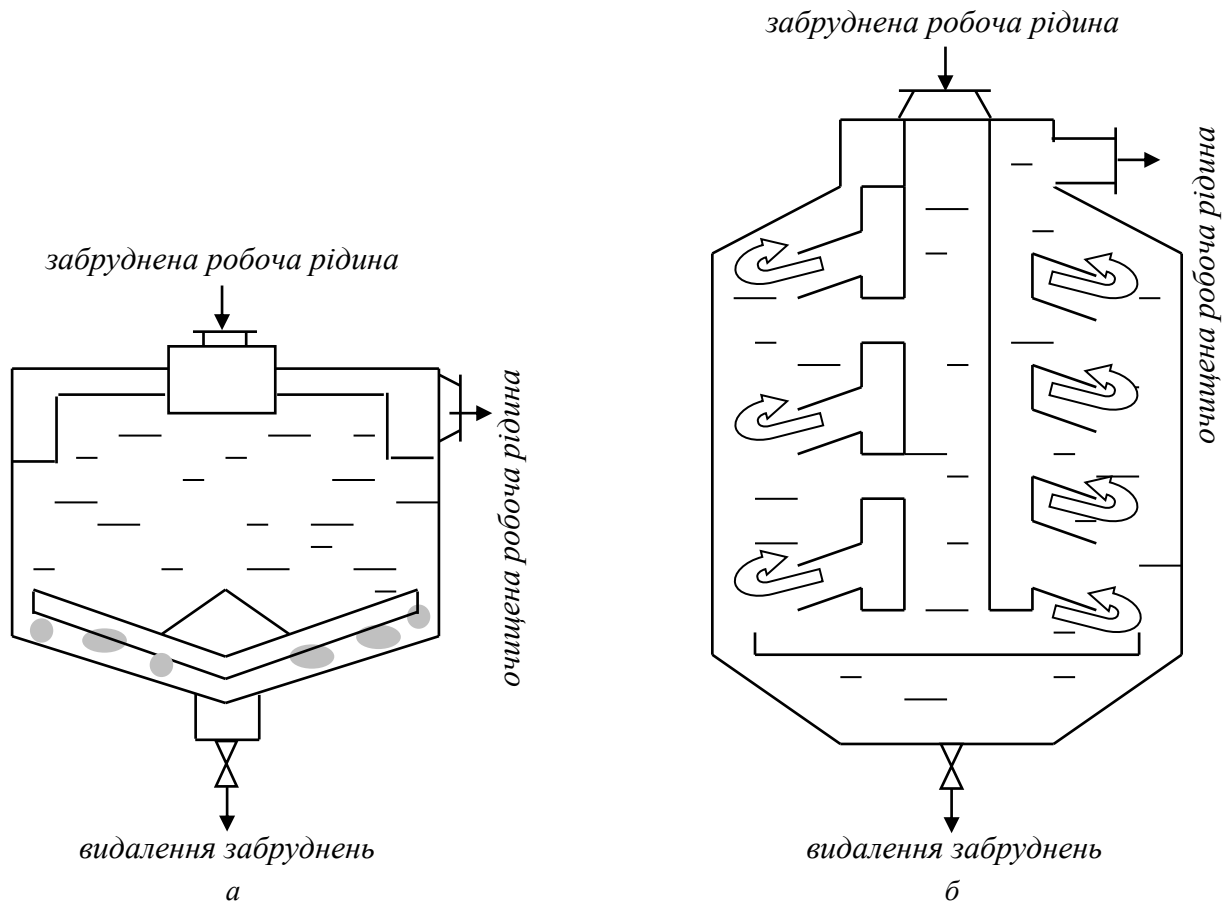


Рисунок 3 – Схема роботи відстійника безперервної дії:  
а – з гребковою мішалкою; б – з конічними тарілками

В очисниках такого типу надходження забрудненої робочої рідини, видача очищеної робочої рідини та видалення забруднень відбувається безперервно. Перевагами є висока пропускна здатність, підвищена якість очищення порівняно з іншими типами очисників, а недоліками – ускладнення конструкції та недостатня ефективність при очищенні в'язких робочих рідин.

Відомо [3], що на ефективність і продуктивність гравітаційних очищувачів великий вплив надають розміри часток забруднення, тобто. чим вони більше, тим менші габарити очисника та час очищення. Крім цього, при зіткненні частинок відбувається коагуляція, яка при очищенні рідин є позитивним явищем. В результаті досліджень одержано рівняння для визначення константи гравітаційної коагуляції. Аналіз результатів, отриманих на основі рішення рівняння, дозволив встановити, що ймовірність виникнення коагуляції залежить не тільки від розмірів частинок забруднень, але і від таких властивостей, як щільність і кінематична в'язкість рідини, що впливають на час осадження частинок забруднення. Чим

більше кінематична в'язкість і щільність рідини, що очищається, тим більше час осадження частинок забруднення і менше ймовірність коагуляції.

Наявність гравітаційного очищувача динамічної дії в технологічному процесі очищення робочих рідин дозволить збільшити ефективність роботи центрифуг і фільтрів тонкого очищення, які виступають наступними ступенями очищення. Розробка математичних моделей функціонування гравітаційних очищувачів динамічної дії дозволить створити оптимальну конструкцію даного пристрою.

З аналізу типових конструкцій очищувачів випливає, що на якість очищення та її продуктивність впливають конструктивні параметри їх профілюючих проточних частин та функціональні параметри процесу очищення.

Дослідження руху твердих частинок у в'язкій рідині під дією гравітаційного поля дозволило встановити, що сила опору (рис. 4), обумовлена в'язкісним тертям, і відповідно до Стокса для сферичної частки дорівнює:

$$F_{on} = 6 \cdot \pi \cdot a \cdot \eta \cdot v \quad (1)$$

де  $F_{on}$  – сила опору руху;  $a$  – радіус частинок;  $\eta$  – коефіцієнт абсолютної в'язкості;  $v$  – швидкість частки щодо рідини.

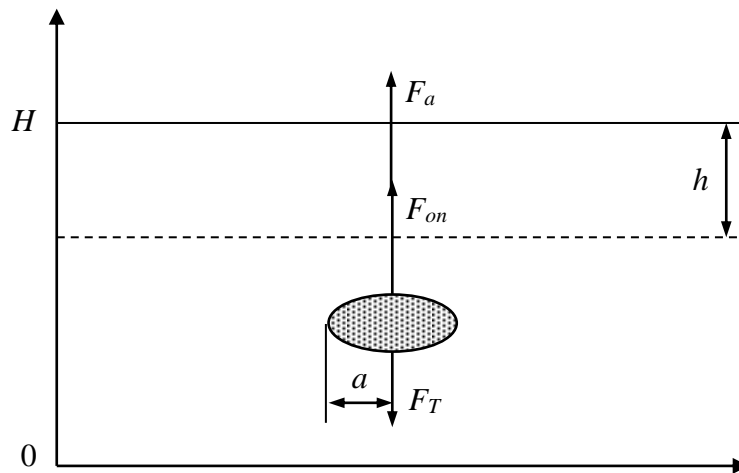


Рисунок 4 – Сили, що діють на тверду частинку, занурену в рідину:  
 $h$  – шлях, пройдений часткою до моменту встановлення постійної швидкості  $v_1$

Оскільки сила опору руху  $F_{on}$  залежить від швидкості руху  $v$ , то частка, занурена в рідину, на яку діє сила тяжіння  $F_T$  і Архімедова сила  $F_a$  рухається прискорено доти, поки швидкість  $v$  не досягне величини, при якій сума сил, що діють на частинку, не буде дорівнювати нулю, тобто:

$$F_T = m \cdot g, \quad F_a = m_1 \cdot g, \quad m \cdot g = F_{on} + F_a, \quad (2)$$

де  $m$  – маса частинки;  $m_1$  – маса витісненої рідини;  $g$  – прискорення вільного падіння.

Виразивши масу частинки через щільність  $\rho$ , радіус частки через  $a$  і масу витісненої рідини через щільність  $\rho_1$ , використовуючи вираз (2), отримаємо рівняння для знаходження швидкості  $v_1$  рівномірного руху твердої частки рідини вздовж вертикальної осі:

$$\frac{4\pi}{3} \rho \cdot g \cdot a^3 = \frac{4\pi}{3} \cdot \rho_1 \cdot g \cdot a^3 + 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot a \cdot v_{1a}. \quad (3)$$

Звідки

$$v_1 = \frac{2 \cdot (\rho - \rho_1) \cdot g}{9\eta} a^2. \quad (4)$$

Час осадження частинки на поверхню осаду, даного радіусу можна знайти, оцінивши попередньо час розгону частинки при зануренні її в рідину на глибину  $h$  (рис. 4).

Рівняння руху частинки в рідині при  $g \neq 0$  має вигляд:

$$m \cdot z'' = m_1 \cdot g - m \cdot g - 6\pi \cdot a \cdot \eta \cdot z', \quad (5)$$

де  $z'$  і  $z''$  – перша та друга похідні за часом  $z(t)$ .

Розділивши вираз (5) на маса частинки  $m$  і виразивши маси частинки та рідини через їх щільності, отримаємо рівняння для  $z(t)$  з початковими умовами:

$$\begin{aligned} z'' + a \cdot z &= -\beta, \\ z_{(0)} &= H, \\ z_{(t)} &= 0, \end{aligned} \quad (6)$$

де введені позначення:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{9\eta}{2a^2 \cdot \rho}, \\ \beta &= \frac{g \cdot (\rho - \rho_1)}{\rho}. \end{aligned} \quad (7)$$

Зробивши заміну  $z' = v$ ,  $z'' = v'$  отримаємо диференціальне рівняння для знаходження  $v(t)$ :

$$v' + a \cdot v = -\beta, \quad v_{(0)} = 0. \quad (8)$$

Рішення цього рівняння має вигляд:

$$v_{(t)} = -v_1 (1 - e^{-at}). \quad (9)$$

Інтегруючи вираз (9) з урахуванням початкових умов отримаємо, залежність координати частки  $z$  від часу:

$$z_{(t)} = H - v_1 \left[ t - \frac{1}{a} (1 - e^{-at}) \right]. \quad (10)$$

Час розгону  $\tau$ , швидкість  $v_1$  і шлях  $h$ , пройдений частинкою для досягнення цієї швидкості можна визначити виходячи з кінетичного аналізу. Часом розгону  $\tau$ , будемо вважати час, протягом якого частинка досягає швидкості, що відрізняється від  $v_1$  на 1%, тобто:

$$\frac{v_1 - V}{v_1} = e^{-a\tau} = 0,01. \quad (11)$$

Тоді, час розгону дорівнює:

$$\tau = \frac{2 \ln 10}{a} = \frac{4,6}{a} \cong \frac{\rho}{\eta} a^2. \quad (12)$$

З виразу (10) з урахуванням (11) і (12), шлях  $h$ , пройдений частинкою за цей час дорівнює:

$$h = H - z_{(t)} = v_1 \left[ \tau - \frac{1}{a} (1 - e^{-a\tau}) \right]. \quad (13)$$

Для практики представляє інтерес оцінка чисельних значень аналізованих величин. У таблиці 1 наведено величини часу розгону  $\tau$ , швидкості  $v_1$  та шляху  $h$ , пройденого частинкою заліза розміром  $d$  в індустріальному і моторному маслі, а в таблиці 2 наведено аналогічні

величини для іншої домішки – кварцу (піску). Вибрані домішки відрізняються одна від одної щільністю ( $\rho = 7900 \text{ кг/м}^3$  – залізо,  $\rho = 3750 \text{ кг/м}^3$  – кварц). Рідини суттєво відрізняються в'язкістю, яка в індустріальному маслі майже в 40 разів менша, ніж у моторному ( $\eta = 0,0026 \text{ Па} \cdot \text{с}$  і  $\eta = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$ , відповідно).

Таблиця 1 – Параметри осадження твердих частинок, що містять домішку – залізо

$d$ , мкм	Індустріальне масло			Моторне масло		
	$\tau$ , с	$l$ , мм	$v_1$ , мм/с	$\tau$ , с	$l$ , мм	$v_1$ , мм/с
5	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$5,7 \cdot 10^{-7}$	$3,7 \cdot 10^{-10}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$
10	$7,8 \cdot 10^{-5}$	$9,1 \cdot 10^{-6}$	0,15	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$5,9 \cdot 10^{-9}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$
25	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	0,93	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$
50	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-3}$	3,6	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-2}$
100	$7,8 \cdot 10^{-3}$	$9,0 \cdot 10^{-2}$	14,8	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$	0,38
200	$3,1 \cdot 10^{-2}$	1,4	59,2	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$9,3 \cdot 10^{-4}$	1,5

Таблиця 2 – Параметри осадження твердих частинок, що містять домішка – кварц

$d$ , мкм	Індустріальне масло			Моторне масло		
	$\tau$ , с	$l$ , мм	$v_1$ , мм/с	$\tau$ , с	$l$ , мм	$v_1$ , мм/с
5	$9,2 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	0,0015	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$7,6 \cdot 10^{-11}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$
10	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	0,06	$9,6 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-9}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
25	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$6,8 \cdot 10^{-5}$	0,38	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-8}$	0,01
50	$9,2 \cdot 10^{-4}$	0,001	1,5	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-7}$	0,04
100	$3,7 \cdot 10^{-3}$	0,017	6,0	$9,6 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	0,16
200	$1,5 \cdot 10^{-2}$	0,28	24,4	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	0,63

З даних, наведених у таблицях 1 і 2 випливає, що час гальмування частинки до швидкості настільки мало, що для великих частинок заліза розміром  $d > 100 \text{ мкм}$  в індустріальному маслі становить 0,03 с. Шлях, пройдений частинками за цей час, також зневажливо малий. Тому при оцінці часу осадження частинки в очищувачі з товщиною шару рідини  $H$  (рис. 4) можна користуватися лише величиною швидкості  $v_1$  з виразу (4). Тоді час осадження дорівнюватиме:

$$t_0 = \frac{H}{v_1}. \quad (14)$$

Задавшись величиною товщини шару рідини  $H$ , тонкістю очищення (мінімальним розміром частинок  $d_{\min}$ , які повинні бути, видалені з рідини, що очищається) і площею осадкової поверхні  $S$ , можна визначити продуктивність очищувача з вертикальними стінками, тобто, об'єм рідини, що обробляється в одиницю часу.

Отже, час відстоювання частинок  $t_0$  заліза розміром  $d_{\min} = 10 \text{ мкм}$  для очищувача з діаметром дна  $D = 0,3 \text{ м}$  ( $S = 0,07 \text{ м}^2$ ), заповненим моторним маслом з в'язкістю  $\eta = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$  до рівня  $H = 0,02 \text{ м}$ , за даними таблиці 1 складе близько 1,5 години. Частинки кварцу тих самих розмірів осідають за 3,5 години. Продуктивність відстійника у першому випадку 0,93 л/год, у другому – 0,4 л/год. Зменшивши товщину  $H$  шару рідини в очиснику вдвічі і одночасно збільшивши вдвічі осадову площу  $S$ , вдвічі скоротиться час осадження. Оскільки об'єм рідини не змінюється, продуктивність також зросте вдвічі/

В результаті проведених досліджень встановлено, що для підвищення якості очищення робочих рідин від твердих частинок необхідно використовувати концепцію: зниження висоти шару рідини, що очищається, зменшення її в'язкості, збільшення площі осадкової поверхні і збільшення щільності твердих частинок забруднення. Аналіз залежності

продуктивності очищувача та тонкості очищення показав, що підвищення якості очищення вдвічі, зменшує продуктивність процесу вчетверо.

### Висновки

Проведений аналіз процесів очищення робочих рідин від твердих механічних домішок показав, що гравітаційні очищувачі є ефективними і перспективними засобами попереднього очищення завдяки простоті конструкції, низькій енергоємності та екологічній безпечності. Водночас їх ефективність істотно залежить від фізико-механічних властивостей робочої рідини та частинок забруднень.

Встановлено, що кінематичний стан очищуваної рідини суттєво впливає на ефективність процесу осадження. Очищувачі динамічної дії забезпечують вищу продуктивність порівняно з очищувачами статичної та періодичної дії, проте потребують оптимізації конструкції проточної частини для роботи з в'язкими робочими рідинами.

На основі аналізу руху твердої частинки у в'язкому середовищі під дією гравітаційного поля з урахуванням сил тяжіння, Архімеда та в'язкісного опору отримано аналітичні залежності, що дозволяють визначати швидкість усталеного осідання, час розгону та шлях, пройдений частинкою до встановлення сталої швидкості. Встановлено, що фаза неусталеного руху частинки характеризується малими значеннями часу та шляху порівняно із загальним часом осадження, у зв'язку з чим при інженерних розрахунках гравітаційних очищувачів доцільно використовувати швидкість усталеного осідання.

Доведено вплив розмірів і густини твердих частинок, а також в'язкості робочої рідини на тривалість процесу осадження та продуктивність гравітаційних очищувачів. Зі зменшенням розміру частинок і збільшенням в'язкості рідини час осадження істотно зростає. Обґрунтовано, що підвищення якості очищення робочих рідин може бути досягнуте шляхом зменшення висоти шару очищуваної рідини, збільшення площі осаджувальної поверхні, зниження в'язкості середовища та оптимізації конструктивних параметрів проточної частини гравітаційних очистителів.

Отримані результати підтверджують доцільність використання гравітаційних очищувачів динамічної дії як ефективної попередньої ланки в багатоступеневих системах очищення робочих рідин перед фільтрами тонкого очищення та центрифугами.

### Література

1. Стаднік М. І., Видмиш А. А., Шаргородський С. А., Руткевич В. С. Самоочисний фільтр для замкнених гідросистем сільськогосподарського обладнання. *Вісник Хмельницького національного університету*, 2021. Вип. 2. Т. 295. С. 130-138, <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2021-295-2-130-138>.
2. Li M., Kong D., Guo Q., Liu X., Yao J., Hu J., Chen L. Investigation of Movement and Deposition Behaviors of Solid Particles in Hydraulic Water Reservoir via the CFD-DEM Coupling Method. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2022. 35. 118, <https://doi.org/10.1186/s10033-022-00788-z>
3. Ardekani M. N., Costa P., Breugem W. P., Brandt L. Numerical study of the sedimentation of spheroidal particles. *International Journal of Multiphase Flow*, 2016. 87. 16-34, <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2016.08.005>
4. Lesser, G. R., Roelvink, J. V., van Kester, J. T. M., Stelling, G. Development and validation of a three-dimensional morphological model. *Coastal Engineering*, 2004. 51 (8-9). 883-915, <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2004.07.014>
5. Dong, X., Zhang, Q., Liu, Y., Liu, X. Improved mesh-free SPH approach for loose top coal caving modeling. *Particuology*, 2024. 95. 1-27, <https://doi.org/10.1016/j.partic.2024.08.016>
6. Osorno, M., Schirwon, M., Kijanski, N., Sivanesapillai, R., Steeb, H., Göttsche, D. A cross-platform, high-performance SPH toolkit for image-based flow simulations on the pore scale of porous media. *Computer Physics Communications*, 2021. 267. 108059, <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2021.108059>
7. Li, C., Wang, C., Zhang, S., Qiu, S., Qin, H. Pore-scale flow simulation in anisotropic porous material via fluid-structure coupling. *Graphical Models*, 2018. 95. 14-26,

<https://doi.org/10.1016/j.gmod.2017.12.001>

8. Batchelor G. K., Wen C-S. Sedimentation in a dilute polydisperse system of interacting spheres. *Journal of Fluid Mechanics*, 1982. 124. 495–528.

9. Xiao Y., Liu J., Zhang P. et al. Experimental study of the settling of twin spherical particles released side by side: The impact of particle size, fluid viscosity, initial spacing, and particle density. *International Journal of Sediment Research*, 2023. 38. 83–96, <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2022.07.006>

10. Traverso T., Abadie T., Matar O. K., Magr L. Data-driven modeling for drop size distributions. *Physical Review Fluids*, 2023. 8. 104302, <https://doi.org/10.1103/PhysRevFluids.8.104302>

UDC 621.225.001.1

## **Influence of Flow Passage Design on the Efficiency of a Gravity Cleaner for Working Liquids**

**A. Voloshina, A. Panchenko, V. Rozhnyatovsky**

*Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University*

**A. Zasiadko**

*Berdyansk college of the Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University*

### **Summary**

*This article explores the process of removing hard mechanical impurities from hydraulic fluids using gravity-fed purifiers of various designs. The relevance of this work stems from increasing demands on the reliability and durability of hydraulic systems in industrial equipment and self-propelled vehicles, whose efficiency largely depends on the purity of the hydraulic fluids. The presence of solid particles in hydraulic fluids leads to intensive wear of hydraulic unit components, reducing their service life and degrading their performance. An analysis of existing gravity-based purifier designs was conducted, categorizing them based on the kinematic state of the fluid being purified into static, intermittent, and dynamic purifiers. The gravity-based purifier methods discussed combine simple design, low energy consumption, and environmental safety, but are characterized by reduced efficiency when purifying viscous working fluids.*

*The focus is on studying the motion of a solid particle in a viscous fluid under the influence of a gravitational field, taking into account gravity, Archimedes' forces, and viscous drag. Based on classical principles of fluid mechanics, analytical relationships are derived for determining the particle's steady-state velocity, acceleration time, and the distance traveled before reaching a stable velocity. It is established that the time of unstable particle motion and the corresponding distance are insignificant compared to the total settling time, allowing the steady-state settling velocity to be used in engineering calculations.*

*The results of calculations of the sedimentation parameters of particles of various natures and sizes in working fluids with significantly different viscosities are presented. The influence of the physical and mechanical properties of the particles and the working fluid on the duration of the sedimentation process and the performance of gravity cleaners is determined. The role of particle coagulation as a factor contributing to increased cleaning efficiency is substantiated.*

*Based on the research results, recommendations were formulated for improving the quality of gravity cleaning of working fluids by reducing the liquid layer height, increasing the sedimentation surface area, reducing the viscosity of the medium, and optimizing the design of the cleaner's flow path. The obtained results can be used in the design and improvement of dynamic gravity cleaners as part of multi-stage cleaning systems for working fluids.*

**Keywords:** *working fluid, solid particle, hydrocleaner, gravity field, viscosity, settling tank, particle settling, particle sedimentation.*