

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ ВІД МАСЕЛ**В. Д. Вернигора, О. М. Коробочка, Д. П. Часов**

Дніпровський державний технічний університет

вул. Дніпробудівська, 2, м. Кам'янське, 51918, Україна. E-mail: vernyhora.viktor@gmail.com

У машинобудівній промисловості застосовуються водні миючі розчини і мастильно-охолоджуючі рідини, які в процесі експлуатації забруднюються маслами і нафтопродуктами. У більшості випадків існуючі методи очищення водних розчинів від нафтопродуктів, що знаходяться у вигляді крапель і плівок, не дозволяють досягти необхідних нормативних результатів. У даній роботі розглянуто використання тангенціально врізаного патрубка в донну частину циліндричних масловіддільників для подачі забрудненої рідини з метою підвищення ефективності очищення від масел та нафтопродуктів. В результаті проведених досліджень встановлено залежність ступеню очищення водних середовищ від масел і нафтопродуктів від величин середньої швидкості руху забрудненої рідини, вхідної концентрації забруднення і температури рідини в масловіддільнику циліндричної форми при тангенціальній подачі рідини в його донну частину. Отримано математичні залежності для визначення середньої швидкості руху забрудненої рідини і продуктивності процесу очищення миючого розчину від масел на масловіддільнику безперервної дії при використанні тангенціально врізаного патрубка.

Ключові слова: забруднена рідина, масла, ступінь очищення, щільність, врізаний патрубок, масловіддільник.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД ОТ МАСЕЛ**В. Д. Вернигора, А. Н. Коробочка, Д. П. Часов**

Днепропетровский государственный технический университет

ул. Днепростроевская, 2, г. Каменское, 51918, Украина. E-mail: vernyhora.viktor@gmail.com

В машиностроительной промышленности применяются водные моющие растворы и смазочно-охлаждающие жидкости, которые в процессе эксплуатации загрязняются маслами. В большинстве случаев существующие методы очистки водных растворов от нефтепродуктов, находящихся в виде капель и пленок, не позволяют достичь требуемых нормативных результатов. В данной работе рассмотрено использование тангенциально врезанного патрубка в донную часть цилиндрических маслоотделителей для подачи загрязненной жидкости для повышения эффективности очистки от масел и нефтепродуктов. В результате проведенных исследований установлена зависимость степени очистки водных сред от масел и нефтепродуктов от величин средней скорости движения загрязненной жидкости, входной концентрации загрязнения и температуры жидкости в маслоотделителе цилиндрической формы при тангенциальной подаче жидкости в его донную часть. Получены математические зависимости для определения средней скорости движения загрязненной жидкости и производительности процесса очистки моющего раствора от масел на маслоотделителе при использовании тангенциально врезанного патрубка для подачи жидкости в донной части.

Ключевые слова: загрязненная жидкость, масла, степень очистки, плотность, врезанный патрубок, маслоотделитель.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Впровадження маловідходних і безвідходних технологій експлуатації водних миючих розчинів і водних мастильно-охолоджуючих рідин (далі водних технологічних рідин) в машинобудівному виробництві є актуальною проблемою.

В процесі експлуатації водні технологічні рідини здатні накопичувати у своєму об'ємі синтетичні та напівсинтетичні масла від 10 до 19 г/л, а мінеральних масел до 20 г/л. При значній забрудненості миючих розчинів і мастильно-охолоджуючих рідин нафтопродуктами збільшується їх налипання до поверхні деталей, що очищається, пилу виробничих приміщень. На поверхні деталей, що очищаються, залишаються краплі розчинів висотою 1–2 мм. Для того щоб масло, яке знаходиться в розчині не забруднювало поверхні деталей до величини 0,10–0,35 мг/см², його концентрація в розчині не повинна перевищувати 1,0–3,5 г/л. Термін експлуатації водних миючих розчинів і водних мастильно-охолоджуючих рідин складає від 2 до 4 тижнів. Своєчасне очищення від масел дозволяє подовжити термін експлуатації цих рідин в 5–6 разів і зменшити витрати на закупівлю миючих розчинів і масти-

льно-охолоджуючих рідин. При довготривалому використанні забруднених водних технологічних рідин більш інтенсивно відбувається зношування технологічного обладнання, сопел форсунок, перекачуючих насосів та ущільнень. Забруднення, що накопичуються у водних рідинах, зменшують корисний об'єм баків, що збільшує кратність перекачування водних рідин і робить інтенсивнішим їх використання. Усе це веде до збільшення витрат на технічне обслуговування обладнання. Крім того, на 20–45 % збільшуються витрати енергії на нагрівання водних рідин, оскільки нагрівальні елементи баків для рідини покриваються теплоізолюючим шаром, що суперечить вимогам по енергозбереженню на промислових підприємствах [1].

У зв'язку з цим виникає проблема очищення забруднених водних технологічних рідин від масел і нафтопродуктів. Очищення мийних розчинів повинно забезпечувати видалення з них тільки масла без зміни іонного складу водних технологічних рідин, що дозволяє повернути їх у виробничий процес. Для цього можуть бути використані для очищення маловмісних водних технологічних рідин реагентні методи [2]. Одним з таких методів є очищення за до-

помогою бентонітової глини, який включає в себе поєднання хімічних процесів разом із фізичними [3, 4].

Існуючі технології регенерації відпрацьованих масел з використанням кислот, лугів, відбілюючих глин, як правило, складні, багатозатратні і екологічно небезпечні. При такій регенерації разом із забрудненнями видаляються й присадки, що не дозволяє повторно використовувати масла по прямому призначенню.

У роботі [5] відмічено, що фізико-механічне локальне очищення, як правило, не дає очікуваних результатів і не забезпечує підготовку до повного біологічного очищення, особливо тоді, коли мова йде про водні мастильно-охолоджуючі рідини, в яких присутні складні полідисперсні системи з колоїдів та розчинених органічних речовин.

Для очищення водних технологічних рідин у роботі [6] пропонується застосовувати електрокоагуляцію та електрофлотаж. Але застосування даних методів суттєво впливає на вартість кінцевої продукції, тому що необхідне застосування складних технологічних схем, дорогих реагентів та флокулянтів, енергомістких та громіздких споруд.

Для водних технологічних рідин застосовують тріступінчасте очищення. На першому ступеню вона проходить відстійник-нафтовловлювач, де очищається від неемульгованих масел і зважених речовин; на другому – електрокоагулятор-електрофлотатор [7, 8], в якому відбувається руйнування емульсії і відділення масла. Концентрація масла зменшується до 50 мг/л, зважених речовин – до 20 мг/л. На третьому етапі очищення водної рідини використовуються сепаратори або фільтри [9], після чого вміст масел не перевищує 20 мг/л і очищена рідина може бути повернена у виробництво. В якості матеріалу, що фільтрує, можна використовувати дерев'яну стружку, яка у міру забруднення спалюється, гранульований поліетилен високого тиску, очищений кварцовий пісок, волокнисті матеріали. Проте таке очищення має і свої недоліки. Утворюється велика кількість погано зневодненого осаду і виникає проблема його утилізації, унеможливується регенерація масла.

Автори робіт [10, 11] надають перевагу флотації, що забезпечує безперервність і велику швидкість процесу, високу ступінь очищення (95–98 %), можливість рекуперації вилучених речовин, простоту конструкції флотаційних установок, незначні капіталовкладення. Недоліком такої технології є підвищені витрати електричної енергії, тому практичне використання перспективне лише для невеликих об'єктів.

При цьому необхідно вважати, що водні миючі розчини представляють собою багатокомпонентні колоїдні емульсії з високою агресивною стійкістю. В них містяться тонкодисперсні домішки, які можуть відрізнитися за хімічним складом і властивостями. Все це впливає на процеси очищення та повинно враховуватися у технологічному процесі.

Отже, дослідження проблеми очищення миючих розчинів у наш час є надзвичайно важливим і актуальним, а розробки в даному напрямку – перспективними і заслуговують детального вивчення.

Відповідно, метою роботи є дослідження процесу очищення миючого розчину від масла на масловіддільнику циліндричної форми. Раніше не було досліджено вплив середньої швидкості руху забрудненого розчину в масловіддільниках циліндричної форми на ступінь відділення масел і нафтопродуктів при використанні тангенціально врізаного патрубку для подачі рідини в донну частину таких пристроїв.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- встановити залежність режимних параметрів масловіддільника циліндричної форми: середньої швидкості руху забрудненого миючого розчину, вхідної концентрації забруднення маслами, температури розчину на ступінь відділення масел і нафтопродуктів при використанні тангенціально врізаного патрубку для подачі рідини в донну частину таких пристроїв;

- отримати математичні залежності для визначення середньої швидкості забрудненої рідини і продуктивності процесу масловідділення.

Це дозволить забезпечити якісне очищення миючого розчину і мастильно-охолоджуючих рідин, мінімізувати енергетичні витрати процесу відділення масел та усунути негативний вплив шкідливих речовин, що містяться у миючому розчині на навколишнє середовище при його утилізації.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для очищення миючого розчину від масла використовували розроблений авторами [12] масловіддільник безперервної дії, який забезпечує поступове постадійне видалення частинок різного ступеню дисперсності в замкненому контурі водо оберту миючого розчину (рис. 1). Миючі та знежирювальні розчини після корегування складу повертаються на повторне використання, а відділені масла частково регенерують, а частково піддають термічній утилізації.

Відділення масла від водної технологічної рідини засновано на використанні різної щільності відокремлюваних рідин. Маючи меншу щільність, нерозчинні у воді речовини (масла, нафтопродукти, жири) спливають на поверхню. При цьому необхідною умовою, що має важливе значення, є збереження ламінарного руху потоків рідини. На якість процесу відділення впливає температура розчину. На рис. 2 приведені графіки залежності щільності водних технологічних рідин від температури.

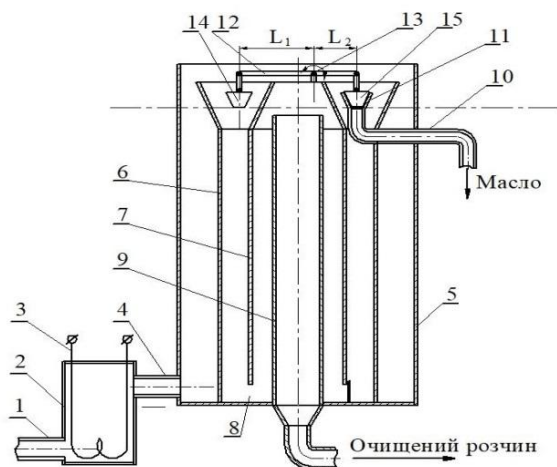


Рисунок 1 – Схема масловіддільника безперервної дії: 1 – патрубок для підведення забрудненої технічної води; 2 – нагрівальна камера; 3 – нагрівач; 4 – тангенціально врізаний патрубок; 5 – корпус; 6 – переливний циліндр; 7 – накопичувач очищеної технічної води; 8 – циліндричний зазор; 9 – зливальний патрубок очищеної технічної води; 10 – патрубок для відводу масла; 11 – воронка; 12 – П – подібне коромисло; 13 – шарнірна опора; 14 – плаваючий поплавков; 15 – запірний клапан

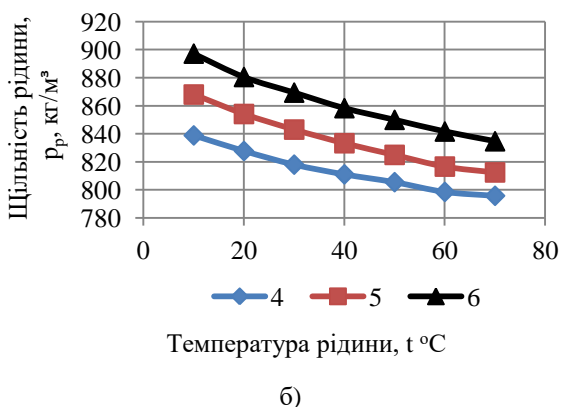
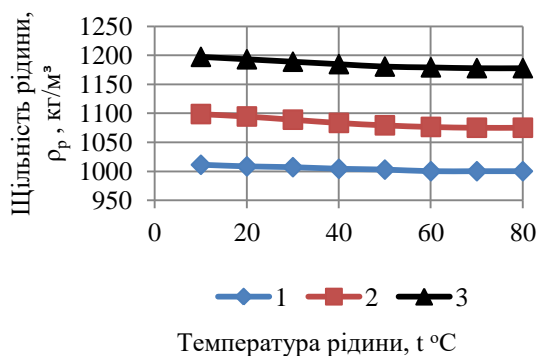


Рисунок 2 – Залежність щільності рідини від температури: а) – водних мастильно-охолоджуючих рідин; б) – змащувальних масел; 1 – водних полімервмісних миючих розчинів; 2 – водних емульсій; 3 – синтетичної водної рідини; 4 – індустріального масла; 5 – трансформаторного масла; 6 – гідравлічного масла

Механічне відділення масел від водних рідин здійснюється в масловіддільниках, які мають циліндричну форму (рис. 3).

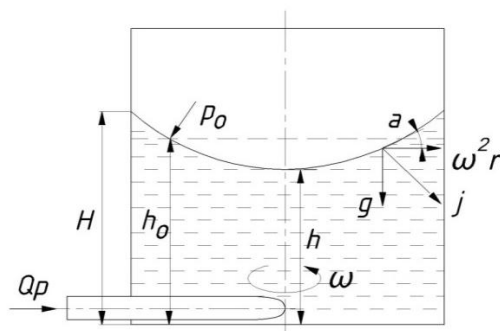


Рисунок 3 – Принципова схема масловіддільника циліндричної форми.

90 % частки масла в воді мають розміри від 1 до 10 мкм. Ефективним є встановлення тангенціально врізаного патрубку для подачі забрудненої водної рідини маслом в донну частину масловіддільника. Перевагою такого патрубку, як засобу відділення частинок масла з водних рідин, в порівнянні з іншими типами таких пристроїв є поворот потоку забрудненої рідини на 90°.

У цьому випадку на частинку масла при русі її в каналі тангенціально врізаного патрубку діють наступні сили: F_a – сила Архімеда, яка виштовхує частинку з товщі потоку; F_s – сила Стокса, яка визначає опір середовища руху частинки масла; F_p – сила впливу потоку рідини на частинку масла; F_i – сила інерції частинки масла.

Рішення рівняння рівноваги сил, що діють на частинку масла, що рухається в потоці водної рідини, доцільно виконати при наступних припущеннях:

- конструктивно тангенціально врізаний патрубок повинен бути виконаний таким чином, щоб середня швидкість потоку забрудненої рідини в соплі і середня швидкість на початку каналу тангенціально врізаного патрубку були рівні;

- сопло патрубку розташоване тангенціально, забезпечуючи рух рідини від низу до верху;

- нижня стінка каналу тангенціально врізаного патрубку виконана досить гладкою, що забезпечує формування ламінарного прикордонного шару на всій її поверхні.

У даному дослідженні розглядається двофазна система «рідина – рідина», де об'єктом дослідження виступають частинки масла, які присутні в середовищі водних рідин.

Однією з фізичних проблем, тісно пов'язаних з протіканням процесу розділення масла і водної рідини, є оцінка опору, який випробовує окрема частинка масла при її спливанні.

У теорії гравітаційного розділення важливо дослідити не лише вплив рідини на частинку, але і вплив частинки на середовище (водну технологічну рідину), в якому вона знаходиться. Ця дія проявляється в тому, що рідина, яка знаходиться у безпосередній близькості від частинки, сама починає рух. Рух рідини поширюється на деяку відстань і переда-

ється сусіднім частинкам, примушуючи у свою чергу переміщатися.

Якщо частинки не мають круглої форми і рухаються з великою швидкістю, роблячи вплив на напрям сусідніх частинок, то завдання стає настільки складним, що не допускає точного рішення.

За наявності вертикального потоку рідини виникають додаткові сили. В першу чергу важливе те, що рух рідини нерівномірний і змінюється від однієї точки до іншої. В результаті тангенціальні сили, які виникають між окремими шарами потоку, викликають обертання частинки і інші явища.

Опір, який долається частинкою внаслідок контакту з поверхнею або в нижньому шарі рідини відіграє важливу роль при розділенні в потоці рідини.

При подачі забрудненої водної технологічної рідини через тангенціально врізаний патрубок в нижній його частині навколо вертикальної осі з деякою постійною кутовою швидкістю $w = const$, початковий рівень вільної поверхні рідини зміниться: в центрі судини він знизиться, а по краях судини підвищиться.

Це явище пояснюється тим, що при обертанні рідини навколо своєї осі рідина в ньому буде відчувати прискорення переносного руху $w^2 r$ спрямоване в бік стінок корпусу масловіддільника. Оскільки рівнодіюча двох сил – сили тяжіння і відцентрової сили – повинна бути спрямована по нормалі до поверхні рідини в кожній її точці, то ця рівнодіюча матиме дві складові: силу тяжіння, спрямовану вертикально вниз, і відцентрову, спрямовану в горизонтальній площині, відповідно:

$$\vec{j} = \vec{g} + \vec{w}^2 \vec{r}. \quad (1)$$

У кожній точці рідини вектор кутового прискорення $\vec{w}^2 \vec{r}$ буде спрямований під деяким кутом α по відношенню до дотичної площини, що проходить через дану точку:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dz}{dr} = \frac{w^2 r}{g}. \quad (2)$$

Звідси:

$$dz = \frac{w^2 r}{g} \cdot dr, \\ z = \frac{w^2 \cdot r^2}{2g} + C.$$

Виберемо будь-яку точку рідини на глибині під поверхнею h (зокрема точка знаходиться на дні посудини), тоді тиск в ній дорівнюватиме:

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h. \quad (3)$$

Кутова швидкість обертання рідинної частинки:

$$\vec{\omega} = \frac{1}{2} \operatorname{rot} \vec{C}, \quad (4)$$

де $\vec{\omega}$ – вектор кутової швидкості; $\operatorname{rot} \vec{C}$ – вихор вектора швидкості рідинної частинки.

В проекціях на Декартові вісі координат:

$$w_x = \frac{1}{2} \left(\frac{dw}{dy} - \frac{dv}{dz} \right) \\ w_y = \frac{1}{2} \left(\frac{du}{dz} - \frac{dw}{dx} \right) \\ w_z = \frac{1}{2} \left(\frac{dv}{dx} - \frac{du}{dy} \right) \quad (5)$$

При потенційному (безвихровому) русі вектор $\operatorname{rot} \vec{C} = 0$.

В координатній формі запишеться так:

$$\left(\frac{dw}{dy} - \frac{dv}{dz} \right) = 0 \\ \left(\frac{du}{dz} - \frac{dw}{dx} \right) = 0 \\ \left(\frac{dv}{dx} - \frac{du}{dy} \right) = 0 \quad (6)$$

В потенційному полі існує скалярна функція J , яка зв'язана з вектором швидкості (потенціалом швидкості) залежністю $C = \operatorname{grad} \varphi$.

Приймаючи до уваги потенціал швидкості для плоскої течії, визначимо проекції швидкості із наступних співвідношень

$$u = \frac{d\varphi}{dx}; \quad v = \frac{d\varphi}{dy}. \quad (7)$$

Криві $j(x, y) = const$ є еквіпотенційними лініями.

Рівняння нерозривності для потенційного руху нестисливої рідини перетворюється в рівняння Лапласа

$$\nabla^2 \cdot \varphi = 0, \quad (8)$$

де $\nabla^2 \cdot \varphi = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}$ – оператор Лапласа.

Струмина вважається затопленою, якщо вона розповсюджується в просторі зайнятим однорідною рідиною.

Теоретичні та експериментальні дослідження показали наступне.

Струмина, яка виходить із отвору, поступово розширюється у вигляді конусу і завдяки в'язкості утягує в рух рідину, яка її оточує.

Таким чином між струминою і доквіллям відбувається обмін масою. Так, що в направленні руху струмини її маса збільшується.

Рівняння для вісі круглого струменя

$$\frac{\dot{a}}{d_0} = 195 \left(\frac{\rho_p \cdot v_1^2}{\rho_m \cdot v_2^2} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{a \cdot x}{d_0} \right)^2 + \frac{a \cdot x \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{d_0}, \quad (9)$$

де a – константа, яка в рівномірному початковому полі швидкостей для круглого струменя становить $a = 0,666$; d_0 – діаметр сопла; v_1 – швидкість потоку рідини в масловіддільнику; v_2 – швидкість потоку рідини в соплі; $45^\circ \leq \alpha \leq 135^\circ$. Справедливо, що при

$\left(\frac{\rho_p \cdot v_1^2}{\rho_m \cdot v_2^2} \right) = (1,45 \dots 8) \cdot 10^{-3}$ глибина проникнення круглого струменя в потік визначається як:

$$h = \frac{0,132 \cdot d_0 \cdot v_2}{a \cdot v_1} \sqrt{\frac{\rho_m}{\rho_p}} \quad (10)$$

Середня швидкість по площі масловіддільника буде дорівнювати

$$v_{cp} = \frac{Q}{\left[1 + 0,96 \left(\frac{r}{a}\right) \cdot tg \alpha\right]^2} \quad (11)$$

Дослідження впливу режимних параметрів масловіддільника безперервної дії на ступінь очищення масла від миючого розчину виконувалося в наступних інтервалах:

- середня швидкість забрудненого миючого розчину v_{cep} , л/с, з метою запобігання турбулізації потоку руху рідини внаслідок конструкції масловіддільника, варіювалась у діапазоні від 0,006 м/с до 0,012 м/с;

- вхідна концентрація забруднення маслами k_{ex} , г/л, варіювалась у діапазоні від 5 до 15 г/л (на підставі статистичних даних дослідження забруднення рідини у промислових умовах);

- температура розчину T , °С, варіювалась у діапазоні від 20 °С до 60 °С, оскільки при температурі менше 20 °С в'язкість масла збільшується та негативно впливає на процес масловідділення, а з підвищенням температури понад 60 °С підвищується інтенсивність випаровування миючого розчину.

На підставі експериментальних даних побудована математична модель і отримано рівняння регресії залежності ступеня очищення миючого розчину від вищенаведених факторів у вигляді ступеневого поліному другого порядку для трьох факторів [13]:

$$C_{oc} = 0,49 + 260v_{cep} - 0,006k_{ex} - 0,021T - 4v_{cep}k_{ex} - 1,169v_{cep}T + 0,0005k_{ex}T - 5554,45v_{cep}^2 + 0,0024k_{ex}^2 + 0,00025T^2 \quad (12)$$

Перевірка гіпотези адекватності моделі за критерієм Фішера при 5 % – му рівні значущості і числах ступенів свободи дисперсії адекватності $f_{ad} = N - k - (n_0 - 1) = 20 - 10 - (6 - 1) = 5$ і дисперсії відтворюваності $f_y = n_0 - 1 = 6 - 1 = 5$ показала, що отримана модель адекватна, оскільки розрахункове значення критерію менше табличного $F_p = 1,72 < F_T(0,05; 5; 5) = 5,1$.

Рівняння (12) адекватно, тому його можна використовувати як інтерполяційну формулу для обчислення величини C_{oc} , г/л – ступеню очищення миючого розчину від масла. Це дає можливість підвищити ефективність процесу масловідділення шляхом розрахунку раціональних режимних параметрів, при яких концентрація масел в очищеній водній технологічній рідині не буде перевищувати 1,0–3,5 г/л.

За результатами розрахунків за рівнянням (12) були побудовані графіки (рис. 4–6) залежності ступеню очищення (C_{oc} , г/л) від середньої швидкості забрудненої рідини (v_{cep} , м/с), вхідної концентрації забруднення маслами (k_{ex} , г/л) та температури рідини (T , °С).

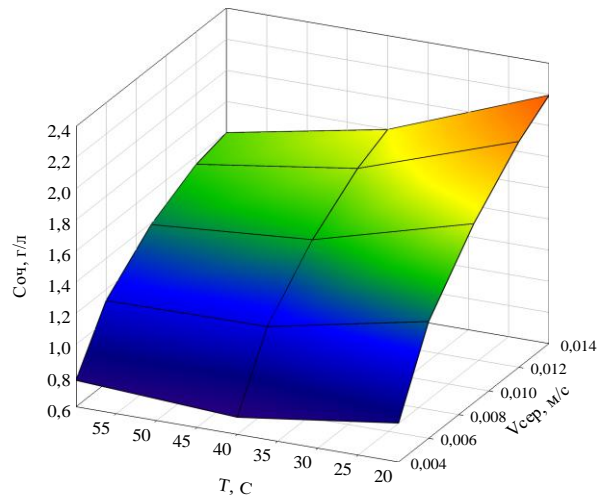


Рисунок 4 – Залежність ступеню очищення C_{oc} від середньої швидкості забрудненої рідини v_{cep} і температури рідини T при вхідній концентрації забруднення рідини $k_{ex} = 5$ г/л

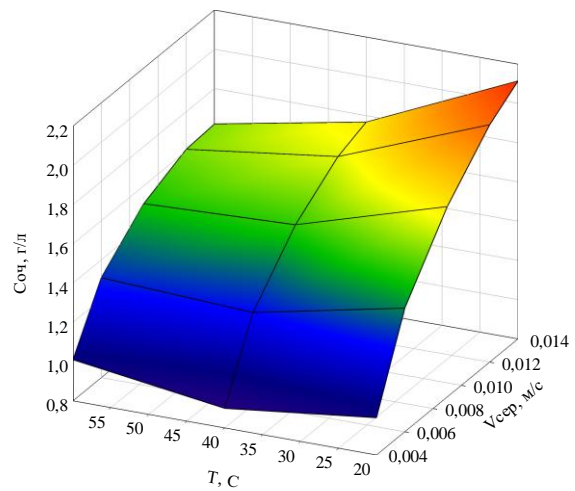


Рисунок 5 – Залежність ступеню очищення C_{oc} від середньої швидкості забрудненої рідини v_{cep} і температури рідини T при вхідній концентрації забруднення рідини $k_{ex} = 10$ г/л

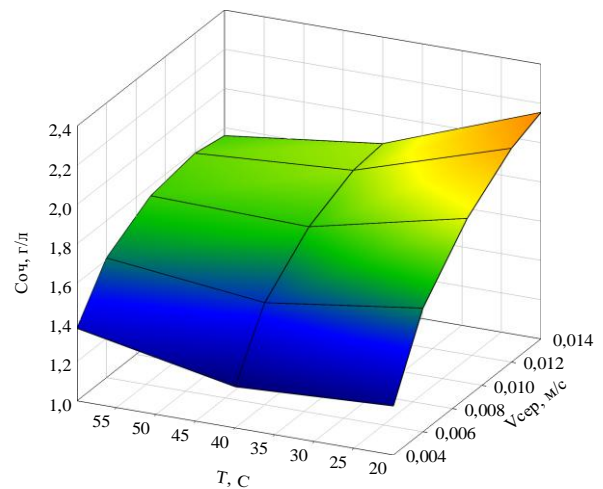


Рисунок 6 – Залежність ступеню очищення C_{oc} від середньої швидкості забрудненої рідини v_{cep} і температури рідини T при вхідній концентрації забруднення рідини $k_{ex} = 15$ г/л

З рівняння (12) виведемо математичну залежність для визначення середньої швидкості руху забрудненої рідини у масловіддільнику.

$$v_{сep} = \frac{-(260 - 4k_{ex} - 1,169T)}{-11108,9} + \frac{\sqrt{(260 - 4k_{ex} - 1,169T)^2 + 10886,8 - 133,2k_{ex}}}{-11108,9} + \frac{\sqrt{11,12k_{ex}T + 53,2k_{ex}^2 + 5,56T^2 - 22217,8C_{оч}}}{-11108,9} \quad (12)$$

Використовуючи формулу (11) і формулу (12) виведемо математичну залежність для визначення продуктивності процесу відділення масел Q, м³/с.

$$Q = \left(\frac{-(260 - 4k_{ex} - 1,169T)}{-11108,9} + \frac{\sqrt{(260 - 4k_{ex} - 1,169T)^2 + 10886,8 - 133,2k_{ex}}}{-11108,9} + \frac{\sqrt{11,12k_{ex}T + 53,2k_{ex}^2 + 5,56T^2 - 22217,8C_{оч}}}{-11108,9} \right) \cdot \left[1 + 0,96 \left(\frac{r}{a} \right) \cdot tg \alpha \right]^2 \quad (13)$$

ВИСНОВКИ. Встановлення тангенціально врізаного патрубку в донну частину масловіддільників циліндричної форми для подачі забрудненої маслом рідини забезпечує поворот потоку забрудненої рідини на 90°. Це збільшує час знаходження забрудненої рідини в масловіддільнику і при ламінарному русі рідини здійснюється розділення рідин з різною щільністю.

Встановлено залежність режимних параметрів масловіддільника циліндричної форми: середньої швидкості руху забрудненого миючого розчину, вхідної концентрації забруднення маслами, температури розчину на ступінь очищення миючого розчину від масел і нафтопродуктів при використанні тангенціально врізаного патрубку для подачі рідини в донну частину масловіддільника.

Встановлено режимні параметри масловіддільника безперервної дії, які при середній швидкості забрудненої рідини $v_{сep}$ від 0,006 до 0,012 л/с, вхідній концентрації забруднення маслами у діапазоні від 5 до 15 г/л, температурі розчину у масловіддільнику у діапазоні від 20 °С до 60 °С забезпечують ступінь очищення миючого розчину від масел і органічних речовин до 70–90 %. При такому ступені очищення, концентрація масел в очищеному миючому розчині не перевищує 2,5 г/л. Це дає можливість отримати якісне очищення миючого розчину без зміни миючої спроможності, збільшити термін його використання й усунути негативний вплив шкідливих речовин, що містяться у миючому розчині на навколишнє середовище при його утилізації.

Отримано математичні залежності для визначення середньої швидкості забрудненої рідини і продуктивності процесу масловідділення.

У подальшому доцільним було би провести процес оптимізації досліджуваних параметрів для забезпечення мінімальних енергетичних витрат.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мажугин Е. И., Казаков Л., Пашкевич А. В. Центробежная очистка моющих растворов при ремонте сельскохозяйственной техники: монография. Горки: БГСХА, 2015. 185 с.
2. De Abreu Domingos R., da Fonseca F. V. Evaluation of adsorbent and ion exchange resins for removal of organic matter from petroleum refinery waste waters aiming to increase water reuse. *Journal of Environmental Management*, 2018, 214. С. 362–369.
3. Mannu A., Vlahopoulou G., Sireus V., Mulas G., Garroni S. Bentonite as a refining agent in waste cooking oils recycling: Flash point, density and color evaluation, *Natural Product Communications*, 2018, 13(5). С. 613–616.
4. Zheng R., Gao H., Ren Z., Cen D., Chen Z. Preparation of activated bentonite and its adsorption behavior on oil-soluble green pigment. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. 2017, 53(2). С. 829–845.
5. Gusev G. I., Gushchin A. A., Grinevich V. I., Fillipov D. V., Izvekova T. V. Physical and chemical properties of sorbents used for wastewater purification from oil products. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya*. 2018, 61(7). С. 137–143.
6. Угляр Ю. М., Борщизин І. Д., Хром'як У. В. Электрофлокоагуляційне очищення стічних вод підприємства ТОВ «Коломийський м'ясокомбінат». *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. Том 2, № 10(68). С. 30–34. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.22986>
7. Gobbi L. C. A., Nascimento I. L., Muniz E. P., Rocha S. M. S., Porto P. S. S. Electrocoagulation with polarity switch for fast oil removal from oil in water emulsions. *Journal of Environmental Management*. Vol. 213, 1 May 2018. Pp. 119–125.
8. Mirshafiee A., Rezaee A., Mamoori R. S. A clean production process for edible oil removal from wastewater using an electroflotation with horizontal arrangement of mesh electrodes., *Journal of Cleaner Production*, Vol. 198, 10 October 2018. Pp. 71–79.
9. Abdulsalam M., Man H. C., Idris A. I., Yunos K. F., Abidin Z. Z. Treatment of palm oil mill effluent using membrane bioreactor: Novel processes and their major drawbacks. 2018, *Water, (Switzerland)* № 10 (9), 1165 p.
10. Аветісян Ю. І., Копаниця Ю. Д., Аргатенко Т. В. Оптимальне управління флотаційним блоком комплексу знежирення стічних вод жирового комбінату // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*. 2009. № 12. С. 78–88.
11. Etchepare R., Oliveira H., Azevedo A., Rubio J. Separation of emulsified crude oil in saline water by dissolved air flotation with micro and nanobubbles, *Separation and Purification Technology*, Vol. 186, 2017. Pp. 326–332.
12. Масловіддільник безперервної дії: пат. 135726 Україна: МПК C02F 1/40 (2006.01). № u 2019

01621; заявл. 18.02.2019; опубл. 10.07.2019, Бюл. № 13. 4 с.

13. Вернигора В. Д., Коробочка О. М. Математичне моделювання процесу очищення миючого роз-

чину на масловіддільнику безперервної дії. *Математичне моделювання: Наук. Журнал*. Кам'янське: ДДТУ. 2020. № 1(42). С. 99–108.

RESEARCH OF THE PURIFICATION PROCESS OF AQUATIC TECHNOLOGICAL ENVIRONMENTS FROM OILS

V. Vernyhora, A. Korobochka, D. Chasov

Dniprovsky State Technical University. DSTU

vul. Dniprobudivska, 2, Kamianske, 51918, Ukraine. E-mail: vernyhora.viktor@gmail.com

Purpose of the work. The aim of the work is to study the process of cleaning the detergent solution from oil on a cylindrical oil separator using a tangentially incised pipe in the bottom part for liquid supply. **Methods.** Experimental studies were performed according to standard methods in the laboratory using chemical, physicochemical, physical methods of analysis. Mathematical methods were used to process the obtained research results. **Results of the work.** The influence of the mode parameters of the cylindrical oil separator is determined: the average speed of the contaminated cleaning solution, the incoming oil contamination concentration, the solution temperature on the degree of purification of the cleaning solution of oils and petroleum products using a tangentially cut nozzle to supply liquid to the bottom. Based on the analysis of the obtained results, it was found that the concentration of oils in the purified detergent solution does not exceed 2.5 g/l at the set mode parameters of the oil separator: the average speed of contaminated liquid is from 0.006 to 0.012 l/s, the input concentration of oil contamination up to 15 g/l, solution temperature 20 °C to 60 °C. This makes it possible to extend the service life of these liquids by 5–6 times, reduce the cost of purchasing detergents, preparation of new detergents and disposal of contaminated. The mathematical dependences were obtained to determine the average velocity of the contaminated liquid and the productivity of the oil separation process. **Originality.** In practice, a reagent-free method for cleaning the detergent solution from oils and organic substances using a continuous oil separator was used. The use of an oil separator makes it possible to obtain high-quality cleaning of the detergent solution without changing the detergent capacity, increase its service life and eliminate the negative impact of harmful substances contained in the detergent solution on the environment during its recycling. **Conclusions.** The dependence of the degree of purification of the detergent solution from oils and oil products on the regime parameters of the oil separator of cylindrical shape: average speed of the contaminated detergent solution, inlet oil contamination concentration, solution temperature when using a tangentially cut pipe to supply liquid to the bottom part were determined. The tangentially cut branch pipe in the bottom part of oil separators of the cylindrical form for giving of the oil polluted with oil provides rotation of a stream of the polluted liquid on 90°. It increases the residence time of the contaminated liquid in the oil separator and during the laminar movement of the liquid, liquids with different densities are separated. The mode parameters of the oil separator of continuous action are established, which at the average speed of the contaminated liquid from 0,006 to 0,012 l/s, the input concentration of oil contamination in the range from 5 to 15 g/l, the temperature of the solution in the oil separator will be in the range from 20 °C to 60 °C the degree of purification of the detergent solution from oils and organic substances by 70–90 %. At this stage of purification, the concentration of oils in the purified detergent solution does not exceed 2.5 g/l. This makes it possible to obtain high-quality cleaning of the detergent solution without changing the detergent capacity, increase its service life and eliminate the negative impact of harmful substances contained in the detergent solution on the environment during its disposal. Mathematical dependences are obtained to determine the average speed of the contaminated liquid and the productivity of the process of the detergent solution cleaning from oils on the oil separator using a tangentially cut nozzle to supply liquid to the bottom.

Keys words: contaminated liquid, oils, degree of purification, density, stub pipe, oil separator.

REFERENCES

1. Mazhugin, E. I., Kazakov, L., Pashkevich, A. V. (2015), «Tsentrobezhnaya ochistka moyuschih rastvorov pri remonte selskohozyaystvennoy tekhniki»: *monografiya*. Gorki: BGSHA. P. 185.
2. de Abreu Domingos, R., da Fonseca, F. V. (2018), «Evaluation of adsorbent and ion exchange resins for removal of organic matter from petroleum refinery aster waters aiming to increase water reuse» *Journal of Environmental Management*, № 214. P. 362–369.
3. Mannu, A., Vlahopoulou, G., Sireus, V., Mulas, G., Garroni, S. (2018), «Bentonite as a refining agent in waste cooking oils recycling: Flash point, density and color evaluation», *Natural Product Communications*, № 13(5). P. 613–616.
4. Zheng, R., Gao, H., Ren, Z., Cen, D., Chen, Z. (2017), «Preparation of activated bentonite and its adsorption behavior on oil-soluble green pigment». *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, № 53(2). P. 829–845.
5. Gusev, G. I., Gushchin, A. A., Grinevich, V. I., Fillipov, D. V., Izvekova, T. V. (2018), «Physical and chemical properties of sorbents used for wastewater purification from oil products». *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya*, № 61(7). P. 137–143.
6. Uhliar, Yu. M., Borshchshyn, I. D., Khromiak, U. V. (2014), «Elektroflotokoahuliatsiine

ochyshchennia stichnykh vod pidpriemstva TOV «Kolomyiskyi miasokombinat». *Vostochno-Evropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohyi*, Tom 2, № 10(68). P. 30–34. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.22986>

7. Gobbi, L. C. A., Nascimento, I. L., Muniz, E. P., Rocha, S. M. S., Porto, P. S. S. (2018), «Electrocoagulation with polarity switch for fast oil removal from oil in water emulsions». *Journal of Environmental Management*, № 213, 1 May, 2018. P. 119–125.

8. Mirshafiee, A., Rezaee, A., Mamoori, R. S. (2018), «A clean production process for edible oil removal from wastewater using an electroflotation with horizontal arrangement of mesh electrodes», *Journal of Cleaner Production*, № 198, 10 October 2018. P. 71–79.

9. Abdulsalam, M., Man, H. C., Idris, A. I., Yunus, K. F., Abidin, Z. Z. (2018), «Treatment of palm oil mill effluent using membrane bioreactor: Novel processes and their major drawbacks», *Water, (Switzerland)*, № 10 (9). P. 1165.

10. Avetisian, Yu. I., Kopanytsia, Yu. D., Arhatenko, T. V. (2009), «Optymalne upravlinnia flotatsiinym blokom kompleksu znezhirennia stichnykh vod zhyrovoho kombinatu» // *Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliki*, № 12. P. 78–88.

11. Etchepare, R., Oliveira, H., Azevedo, A., Rubio, J. (2017), «Separation of emulsified crude oil in saline water by dissolved air flotation with micro and nanobubbles», *Separation and Purification Technology*, № 186. P. 326–332.

12. Masloviddilnyk bezperervnoi dii: pat. 135726 Ukraina: MPK S02F 1/40 (2006.01). № u 2019 01621; zaiavl. 18.02.2019; opubl. 10.07.2019, Biul. №13. 4p.

13. Vernyhora, V. D., Korobochka, O. M. (2020), «Matematychni modeliuvannia protsesu ochyshchennia myiuchoho rozchynu na masloviddilnyku bezperervnoi dii», *Matematychni modeliuvannia: Nauk. Zhurnal. Kamianske: DDTU*, № 1(42). P. 99–108.

Стаття надійшла 01.07.2020.