



Міністерство освіти і науки України
Національний університет біоресурсів
і природокористування України
Механіко-технологічний факультет
НДІ техніки і технологій

Представництво Польської академії наук в Києві
Відділення в Любліні Польської академії наук
Академія інженерних наук України
Українська асоціація аграрних інженерів



**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
XIX МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ НАУКОВО-
ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ, НАУКОВИХ
СПІВРОБІТНИКІВ ТА АСПІРАНТІВ**

**«Проблеми та перспективи розвитку технічних та
біоенергетичних систем природокористування»**

(25–29 березня 2019 року)

**присвячену 205-річчю з дня народження Т.Г. Шевченка
під гаслом «І чужому навчається, й свого не цурайтесь...»**



Київ – 2019

УДК 614.82

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОМИВАННЯ БІОДИЗЕЛЯ

*Поліщук В. М., кандидат технічних наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Під час нейтралізації біодизеля лимонною кислотою в ньому утворюються солі (цитрати) кальцію, які разом із водою з'єднуються у пластинки, за формою близькі до форми циліндра, з максимальним діаметром близько 1,5-3 мм. Під час перемішування біодизеля під час нейтралізації ці пластинки розбиваються на дрібніші максимальним діаметром приблизно до 50 мкм. Відношення висоти пластинки солей лимонної кислоти до її діаметру становить приблизно 1/10. Густина калійних солей лимонної кислоти становить 1237 кг/м³.

Після нейтралізації солі кальцію необхідно вивести із біодизеля для зниження його лужності. Це можна здійснити шляхом осадження.

На частинку, яка перебуває в рідині у вертикальному каналі, діють:
– сила тяжіння:

$$P_g = m_{\text{ч}} \cdot g = V_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot g; \quad (1)$$

– сила Архімеда:

$$P_A = V_{\text{ч}} \cdot \rho_p \cdot g. \quad (2)$$

де $M_{\text{ч}}$ – маса частинки, кг; $V_{\text{ч}}$ – об'єм частинки, м³; g – прискорення вільного падіння, м/с²; $\rho_{\text{ч}}$, ρ_p – густина частинки і рідини, кг/м³.

У випадку, якщо $P_g > P_A$, частинка починає опускатись у товщі рідини. Сила, що діє на частинку в цей момент, становить:

$$P_g - P_A = V_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot g - V_{\text{ч}} \cdot \rho_p \cdot g = V_{\text{ч}} \cdot g \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_p). \quad (3)$$

Під час руху частинки до дна вмістища на неї починає діяти сила опору, яка протидіє різниці сил $P_g - P_A$:

$$P_o = \zeta \cdot S_{\text{ч}} [(\rho_p v_{\text{ч}}^2)/2], \quad (4)$$

де ζ – коефіцієнт опору; $S_{\text{ч}}$ – площа проекції частинки на горизонтальну площину, м²; v – швидкість руху частинки, м/с.

У початковий момент осадження частинка рухається з прискоренням. Але із збільшенням швидкості буде зростати опір середовища і відповідно зменшуватись прискорення. Дуже швидко настане рівновага: сила опору середовища P_o зрівняється із силою рухомої частки ($P_g - P_A$) і наступить динамічна рівновага: $P_o = P_g - P_A$.

Починаючи з цього моменту, частинка буде рухатися рівномірно із постійною швидкістю. Цю швидкість називають швидкістю осадження $v_{\text{ос}}$.

Швидкість осадження можна знайти із умови рівності сили, що рухає частку, і сили опору середовища $P_g - P_A = P_o$:

$$V_{\text{ч}} \cdot g \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_p) = \zeta \cdot S_{\text{ч}} [(\rho_p v_{\text{ч}}^2)/2]. \quad (5)$$

Звідси швидкість осадження частинки становить:

$$v_{\text{ос}} = \sqrt{\frac{2 \cdot V_{\text{ч}} \cdot g \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_p)}{\zeta \cdot S_{\text{ч}} \cdot \rho_p}}. \quad (6)$$

Коефіцієнт опору ζ залежить від режиму руху частинки при осадженні $\zeta = f(\text{Re})$, який характеризується критерієм Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\rho_p d_{\text{ч}} v_{\text{ос}}}{\mu_p}, \quad (7)$$

де Re – критерій Рейнольдса; $d_{\text{ч}}$ – діаметр частинки, м; μ_p – динамічна в'язкість рідини, Па·с

Рівняння руху частинки у товщі рідини можна записати через систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} m_{\text{ч}} \frac{dv_{\text{ч}}}{dt} = P_o - (P_g - P_A) \\ \frac{dl_{\text{к}}}{dt} = v_{\text{ч}} \end{cases}. \quad (8)$$

де $l_{\text{к}}$ – довжина каналу (відстань, що проходить частинка при осадженні в товщі біодизеля), м.

Підставивши до виразу (8) формули (5) і (6), отримуємо систему диференціальних рівнянь, яка описує осадження частинок в товщі нерухомої рідини, яка розміщена в каналі діаметром D_k :

$$\begin{cases} \frac{dv_q}{dt} = \frac{\zeta \cdot S_q \cdot \rho_p \cdot v_q^2 \cdot \left(1 - \left(\frac{d_q}{D_k}\right)^2\right)}{2 \cdot m_q} - \frac{V_q \cdot g \cdot (\rho_q - \rho_p)}{m_q} \\ \frac{dl_k}{dt} = v_q \end{cases} \quad (9)$$

У випадку руху рідини необхідно також враховувати дію на частинку двох бокових сил: P_1 , що викликається наявністю градієнта швидкості потоку, і сили Магнуса P_2 .

Шляхом вирішення системи рівнянь (9), отримана динаміка зміни в часі швидкості осадження частинки, її числа Рейнольдса та час осадження.

Швидкість осадження пластинок водного розчину цитрату калію зростає поступово. Після зупинки мішалки сила тяжіння, що діє на пластинку, поступово починає перевищувати архімедову силу і силу опору, при цьому швидкість осадження зростає по закону, близькому до лінійного. Однак починаючи з деякого моменту часу в зв'язку із зростанням сили опору прискорення пластинки уповільнюється і в певний момент, коли сила тяжіння урівноважується архімедовою силою і силою опору, швидкість осадження стабілізується.

Якби пластини водного розчину цитрату калію зберігали той розмір, який вони утворюють при нейтралізації біодизеля водним розчином лимонної кислоти (0,5-1,5 мм), час осадження в товщі біодизеля висотою 1 м займав би від 2 до 20 хв. Однак при нейтралізації утворені пластинки розбиваються механічною мішалкою на дрібніші, час осадження яких суттєво зростає. І якщо час осадження пластинок діаметром 100 мкм становить близько 10 год., то вже пластинки діаметром 50 мкм осаджуються протягом 1,5 діб, а діаметром 10 мкм – до 40 діб. Ситуація ускладнюється тим, що існує широка полідисперсність частинок водного розчину цитрату калію в біодизелі після його нейтралізації, що призводить до неповного його очищення від гідроксиду калію.

Одним із способів підвищення ефективності очищення біодизеля є промивання його водою шляхом розбризкування її над поверхнею біодизеля із наступним рухом краплин води до дна місткості. Під час руху, краплини рідини з'єднуються із пластинками забруднювачів, і захоплюють їх із собою.

Краплини з діаметром від 2 мм осаджуються в ламінарному режимі ($Re < 2$), при збільшенні діаметра краплин понад 2000 мкм їх осадження здійснюється в перехідному режимі.

Механізм дій сил тяжіння, Архімеда і опору на краплину аналогічний до дій цих сил на пластинку циліндричної форми, що описаний вище.

Висновки. Час осадження пластинок водного розчину цитрату калію при очищенні біодизеля від каталізатора може становити від 0,5 до 40 діб. Тому для пришвидшення цього процесу рекомендується розпилювати в товщі біодизеля

краплини води, які приєднують до себе частинки забруднювача і транспортують їх до дна реактора. Починаючи із діаметра краплин води 1 мм подальше збільшення їх дисперсності суттєво не впливає на швидкість осадження. Тому бажано промивати біодизель шляхом розпилювання в ньому краплин води діаметром 0,5-1 мм. Швидкість осадження таких краплин не перевищує 2 хв. При зменшенні дисперсності краплин швидкість їх осадження суттєво зростає.