УДК544.778.3:662.757

Косигіна І.М., к.т.н., н.с.; **Макаров А.С.,** д.т.н., зав. відділу;
Потапчук І.М., пров. інженер

РЕОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАСЛО-ВОДОВУГІЛЬНИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ВУГІЛЛЯ МАРКИ ДГ ТА ВІДПРАЦЬОВАНОГО МАСЛА COMMA XTECH 5W-30

Інститут колоїдної хімії та хімії води імені А. В. Думанського НАН України, бульвар Академіка Вернадського, 42, Київ, 03142.kosygina@ukr.net

В наш час все більше постає проблема дефіциту енергоносіїв, їх економічність, екологічність та можливість поєднання різних чистих або відпрацьованих продуктів паливних матеріалів для більш повного їх використання та отримання максимальної енергії. Одним з ефективних шляхів вирішення даної проблеми є розробка композиційного палива, яке складається з вугілля різного ступеня метаморфізму, а також рідких дисперсійних середовищ різної хімічної природи. Найбільш відомим рідким паливом є водовугільне паливо, застосування якого має низку переваг перед спалюванням чистого вугілля. Але одним з його недоліків є низька калорійність через вміст в ньому до 40 % води від маси вугілля. Для раціонального спалювання палива на основі вугілля доцільно обмежитись вмістом води на рівні 10-15 %. Тому було запропоновано замінити частину водного середовища на органічні рідини: відпрацьовані масла, нафтошлами, сивушні масла. Для масло-водовугільних палив важливими є наявність відповідних характеристик: в'язкості та стабільності для транспортування, зберігання та розпилення даних систем. При цьому на масло-водовугільні емульсії впливають різні зовнішні чинники, змінюючи їх характеристики, зокрема, й температура. Тому в даній роботі проводили дослідження впливу температури на реологічні властивості масло-водовугільних палив. В ході аналізу результатів проведених досліджень встановлено, що відбувається різке зниження в'язкості середовища при підвищенні температури від 10 °С до 20 °С. Подальше підвищення температури призводить до меншого зниження величини зміни ефективної в'язкості. Водночас при температурі в діапазоні від 60 °С до 70 °С спостерігається незначне зниження темпів зміни реологічних характеристик для досліджених масло-водовугільних палив. Отримані дані свідчать, що транспортування масло-водовугільних палив цистернами або трубопроводом суттєво не впливатимуть на текучість та стійкість одержаних систем.

Ключові слова: композиційне паливо; масло-водовугільна емульсія; довгополуменеве газове вугілля; температурна залежність.

Вступ

Збільшення об'ємів споживання нафтопродуктів у транспортній та енергетичній системах, а також активний розвиток групи галузей промисловості (особливо нафтохімічної і нафтопереробної) призводить до накопичення чисельних відходів у вигляді відпрацьованих масел, нафтошламів та інших нафтовмісних рідин. Вирішити проблему утилізації відходів можна шляхом застосування їх в якості органічного компоненту палива при спалюванні на теплоенергетичних станціях з метою отримання теплової та електричної енергії.

Технологія одержання висококонцентрованих композиційних палив, які застосовуються в якості рідкого палива в енергогенеруючих установках, пов'язана з теплотехнічними вимогами: максимального наповнення дисперсійного середовища горючими компонентами (наприклад, дисперсним вугіллям). При цьому система повинна бути стабільною (протягом тривалого періоду не менше 3 діб) та мати відповідну в'язкість, яка забезпечуватиме

© Косигіна І.М., Макаров А.С., Потапчук І.М.
DOI: 10.24144/2414-0260.2023.2.62-69

можливість її легкого транспортування по трубах та у цистернах, а також розпилюватись форсунками (при в'язкості до 1,5 Па·с) [1-2].

Для композиційного палива найважливішими характеристиками, що визначають його властивості як рідкого палива, є реологічні параметри та показники стабільності. Це значення реологічних характеристик вугільних суспензій дає можливість прогнозувати та регулювати технологічні властивості паливних дисперсних систем.

Одним з важливих факторів зовнішнього впливу на реологічні властивості композиційних палив є температура. Розглядати цей вплив необхідно з урахуванням технології приготування, транспортування, зберігання та застосування таких палив. Відомо, що в'язкість води зі зміною температури від 0 °С до 20 °С зменшується в 1,8 разів [3]. Проте вплив зміни температури на композиційні палива вивчено недостатньо.

Вплив температури на реологічні характеристики водо-вугільних суспензій на основі вугілля різного ступеня метаморфізму досліджені у роботах [4-6]. Для масло-водо-вугільних палив (МВВП) на основі довгополуменевого газового вугілля (ДГ) такі дослідження дотепер не проводились.

Метою даної роботи було створення композиційного палива і дослідження впливу температури на системи МВВП, одержані на основі масла Comma Xtech 5W-30 з концентрацією $C_м$ = 49% мас. й довгополум'яного газового вугілля (ДГ) з концентрацією $C_т$ = 40 % мас., води C_{H2O} = 10% мас. та хімічного реагента-стабілізатора 1% ResinAnt 2.

Методика експерименту

Вихідне вугілля з діаметром частинок d = 1 мм подрібнювали на валковому млині, використовуючи керамічні кулі у фарфоровому барабані ємністю 2 дм^3. Потім вугілля просівали на ситах СЛМ 200 для виключення впливу фактору різної дисперсності на реологічну поведінку дисперсних систем і отримували сипучий матеріал однакового гранулометричного складу, найкраще співвідношення якого було визначене [7]: фракція 250-160 мкм – 40%, 160-100 мкм – 20%, 100-63 мкм – 5%, 63-40 мкм – 32%. Технічний та елементний аналіз вугілля приведено в Табл.1.

Таблиця 1. Технічний та елементний аналіз вугілля

Технічний аналіз, мас.%			Елементний аналіз, % на daf				
W^a	A^d	V^{daf}	C	H	N	O	S
9,8	9,3	43,8	46,2	4,9	1,1	13,7	4,1

Структурно-сорбційні характеристики порошків вугілля розраховували методом Брунауера-Еммета-Теллера [8]. Із результатів вимірювань низькотемпературної адсорбції азоту на аналізаторі питомої поверхні Quantachrome Nova: густина (ρ=1,3 г/см^3), питома поверхня (S_{sp}=1,386 м^2/г), питомий об'єм пор (V_{pore}=0,053см^3/г) і ефективний діаметр пор (d_{pore} =7,670нм). Розподіл поверхневих функціональних груп (вміст функціональних груп яких складався з: –COOH 0,09 мг-екв/г; –OH 0,32 мг-екв/г; >C=O 0,21 мг-екв/г) за кислотністю визначали, знаючи повну обмінну ємність (ПОЄ=0,15 мг-екв/г) вугілля, з урахуванням результатів нейтралізації цих груп 0,1н водними розчинами NaOH, Na_2CO_3 і $NaHCO_3$ [8]. Неорганічна складова вугілля за даними рентгенофазового аналізу (дифрактометр ДРОН 2) представлена переважно кварцом, каолінітом і гідрослюдою.

Для отримання МВВП проводили гомогенізацію порошку вугілля з моторним маслом Comma Xtech 5W-30 (Табл. 2) і водою та 1 % реологічної добавки на масу твердої фази (Табл.3).

Метою гомогенізації було створення стійкої в часі однорідної структури в багатофазній системі та ліквідація концентраційних мікронеоднорідностей, внаслідок чого спостерігається покращення реологічних властивостей суспензій. Гомогенізацію проводили на лабораторній роторній лопатній мішалці зі швидкістю гомогенізації – 2000 об/с протягом 5 хв.

© Косигіна І.М., Макаров А.С., Потапчук І.М.
DOI: 10.24144/2414-0260.2023.2.62-69

Таблиця 2. Технічні характеристики моторного масла [9]

Характеристики масел	Марка масла
	Comma Xtech 5W-30
Клас в'язкості,	5W-30
Густина при 20°C (68°F),	0,848 г/см³
В'язкість при 40°C (104°F),	55 мм²/с
В'язкість при 100°C (212°F),	9,9 мм²/с
Індекс в'язкості	166
Температура застигання	-36°C / -33°F
Температура спалаху	230°C / 446°F
Сульфатна зольність	1,1% маси
Лужне число	10,0 мг KOH/г

Таблиця 3. Характеристика реологічної добавки

Добавка	Вид	Витрата,% від. маси робочого розчину	Зовнішній вигляд	Густина г/см^3	pH 1% водного р-ну	Розчинність		
						у воді	у масл.	в орган. розч.
ResinAnt 2	диспергатор-змочувач	1	в'язка рідина	1	7	+	+	–

Слід зазначити, що досліджені масло-водо-вугільні емульсії не розшаровувались протягом тижня при зберіганні в статичних умовах навіть за відсутності стабілізуючих реагентів. Це можна пояснити тим, що в системі спостерігається утворення просторової сітки з міцною фіксацією анізометричних частинок вугілля без втрати седиментаційної стійкості.

Основні реологічні параметри масло-водо-вугільних емульсій: ефективну в'язкість $\eta_{еф}$ (Па·с) та напругу зсуву τ (Па) визначали на приладі «Rheotest'2» у спеціальному термостатованому середовищі за допомогою коаксіальних гладких циліндрів вимірювальної системи S/S2 при 12 різних фіксованих швидкостях обертання ротора в діапазоні 0,278-243 об/хв, що відповідає зміні швидкості зсуву від 1,0 $с^{-1}$ до 437,4 $с^{-1}$. Термостатування відбувалося за допомогою циркуляційного рідинного термостата U15C конструктивного ряду MLW (Німеччина) протягом 15 хв. Реологічні вимірювання для кожної з температур проводили з новою порцією МВВЕ, попередньо її перемішавши при фіксованій температурі протягом 10 хв. Температурні режими задавали в діапазоні 10^oC-70^oC, крок вимірювання був рівномірним – 10^oC.

Результати та їх обговорення

Реологічні властивості композиційних палив визначаються масовою часткою і гранулометричним складом твердої фази, а також фізико-хімічними властивостями дисперсійного середовища, та типом хімічних реагентів, що застосовуються [1].

Під час дослідження реологічних характеристик масло-водо-вугільних дисперсних систем на основі вугілля марки ДГ в'язкість систем (Табл.4) при зростанні температури зменшується по всьому діапазону зміни швидкостей зсуву. Порівняння реологічних характеристик вугільних дисперсних систем прийнято здійснювати при швидкості зсуву Dr = 9 $с^{-1}$ (Табл.4), а здобуту при цьому в'язкість називають ефективною, яка відображає навантаження на МВВП при приготуванні та транспортуванні по трубопроводу або в цистернах. Як видно з Рис. 1, криві мають увігнутий вигляд, що вказує на псевдопластичний тип колоїдних систем.

© Косигіна І.М., Макаров А.С., Потапчук І.М.
DOI: 10.24144/2414-0260.2023.2.62-69

Таблиця 4. Реологічні характеристики масло-водо-вугільних емульсій на основі вугілля марки ДГ (довгополуменевого газового) при різних температурах

	t=10 °C	t=20 °C	t=30 °C	t=40 °C	t=50 °C	t=60 °C	t=70 °C
D, c^{-1}	η, Па·с	η, Па·с	η, Па·с	η, Па·с	η, Па·с	η, Па·с	η, Па·с
1	3,28	2,51	2,39	2,33	2,09	1,79	1,73
1,8	2,69	2,02	1,92	1,66	1,49	1,03	1,02
3	2,59	1,89	1,59	1,39	1,23	0,94	0,90
5,4	2,32	1,36	1,34	1,18	1,10	0,88	0,78
9	**2,07**	**1,27**	**1,16**	**1,06**	**0,98**	**0,74**	**0,59**
16,2	1,82	1,19	1,09	0,95	0,81	0,63	0,46
27	1,59	1,08	0,98	0,84	0,73	0,55	0,42
48,6	1,29	0,96	0,81	0,71	0,62	0,47	0,37
81	1,08	0,86	0,73	0,61	0,51	0,41	0,33
145,8	0,95	0,77	0,62	0,50	0,45	0,35	0,30
243	0,89	0,71	0,54	0,45	0,40	0,33	0,26
437,4	0,84	0,66	0,52	0,42	0,36	0,27	0,21

Збільшення напруги зсуву при одній температурі супроводжується спочатку різким, а потім більш плавним падінням в'язкості до певних значень напруги зсуву, коли в'язкість стає найменшою і далі зменшується несуттєво (Рис.1). В областях напруги зсуву до 20 Па різко знижується в'язкість суспензії, що характеризується інтенсивним руйнуванням зв'язків у структурі. При 30-60 Па система характеризується повільним зниженням в'язкості – це відповідає повному руйнуванню структурної сітки суспензій. У цьому діапазоні зміни напруги зсуву відбувається граничне руйнування структури у процесі течії та незначне її відновлення. Така закономірність спостерігається у всіх масло-водо-вугільних емульсіях при досліджуваних температурах.

При проведенні досліджень, було встановлено, що структура масло-водо-вугільних палив може з часом відновлюватися після їх руйнування в результаті механічної дії. Під час цього відбувається розривання контактів між частинками дисперсної фази, а після зняття навантаження завдяки рухливості дисперсійного середовища і броунівського руху частинок твердої фази ці контакти відновлюються.

При накладанні на систему деформації зсуву відбувається її руйнування на окремі фрагменти, а при відсутності навантаження вона знову відновлюється. При цьому утворюється петля гістерезису, що свідчить про структурованість системи та її тиксотропність. Площа петлі гістерезису в цьому випадку характеризує ступінь тиксотропності системи.

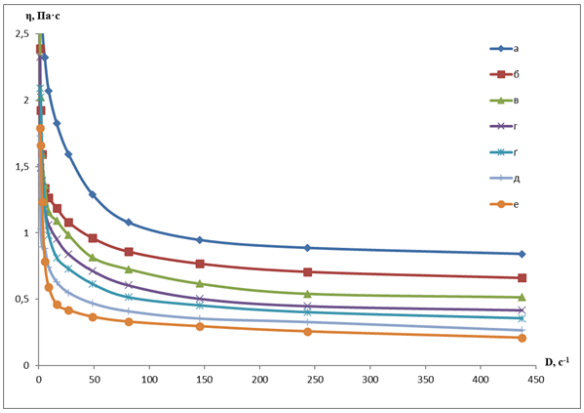

Рис. 1. Криві динамічної в'язкості масло-водо-вугільних палив на основі вугілля марки ДГ і відпрацьованого моторного масла при зміні температури в інтервалі 10°С -70°С (а – 10°С, б – 20°С, в – 30°С, г – 40°С, ґ – 50°С, д – 60°С, е – 70°С).

Тиксотропію досліджуваних систем виявляли при зменшенні в'язкості з часом при накладанні механічної дії і поступовому зростанні в'язкості після зняття навантаження (Рис. 2). Як показали проведені дослідження залежності напруги зсуву від швидкості деформації зсуву, для палив на основі вугілля ДГ спостерігається стрімке відновлення коагуляційної структури після зняття навантаження.

© Косигіна І.М., Макаров А.С., Потапчук І.М.
DOI: 10.24144/2414-0260.2023.2.62-69

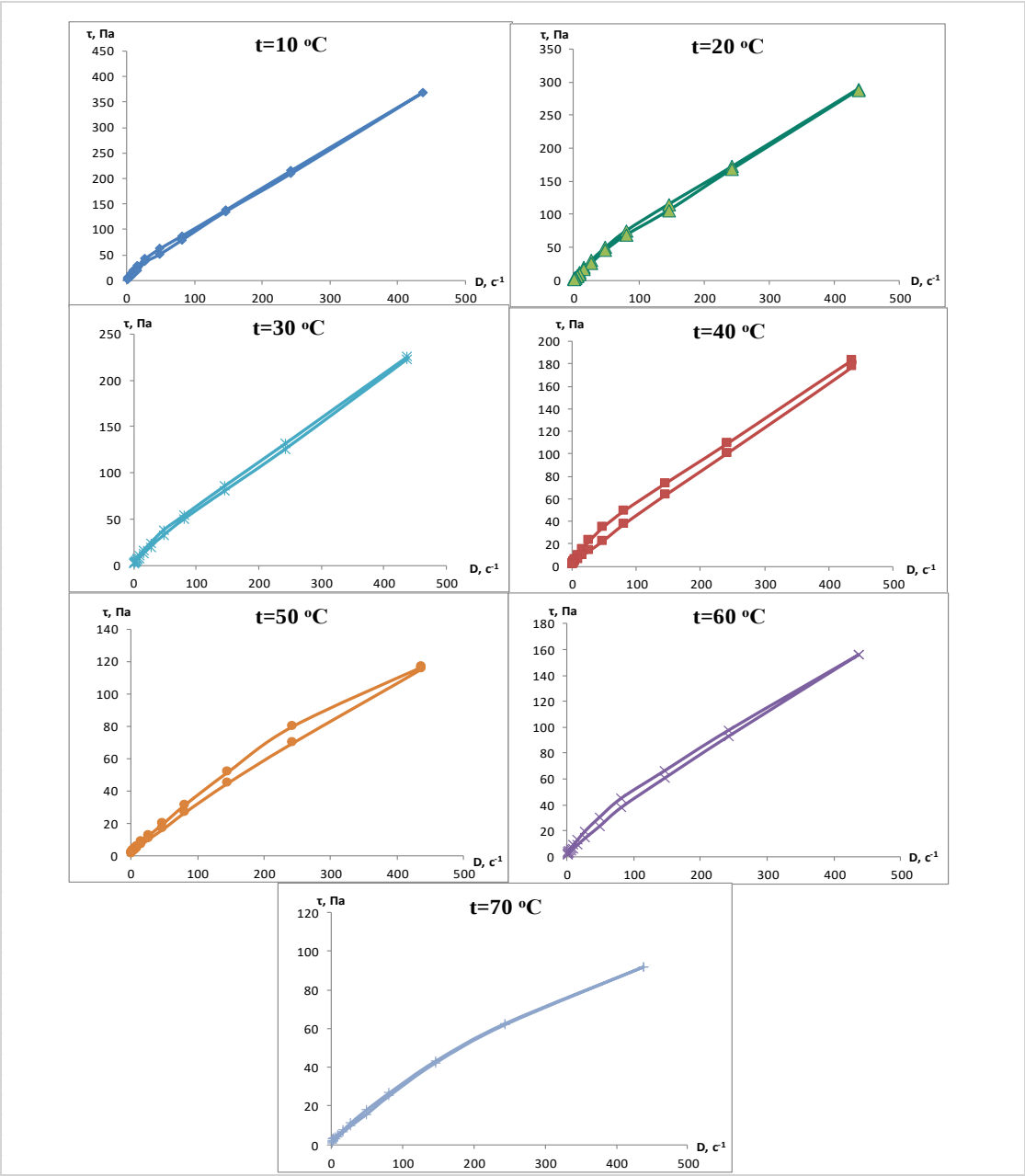

Рис. 2. Гістерезисні криві залежності напруги зсуву від швидкості деформації масло-водо-вугільних дисперсних систем на основі вугілля марки ДГ і відпрацьованого моторного масла при зміні температури в інтервалі 10°С -70°С.

З Рис. 2 видно, що площі петлі гістерезисних кривих текучості дуже малі і мають вигляд практично суцільних ліній, що свідчить про досить високий ступінь тиксотропності структури МВВП при використанні відпрацьованого моторного масла.

Треба відзначити, що криві текучості масло-водо-вугільних палив при 40 °С і 50 °С мають площу петлі гістерезису більшу, ніж криві текучості, отримані при інших температурах. Це можна пояснити тим, що для одержаних МВВП при температурі в інтервалі 40°С-50°С має місце температурне руйнування просторових структур, а при 60°С-70°С спостерігається їх максимальне руйнування. При температурах 10°С-30°С просторові структури мають високу міцність і в'язкість за рахунок масла та слабо піддаються руйнуванню.

Для оцінки ступеня зміни ефективної в'язкості МВВП в діапазоні температур,

© Косигіна І.М., Макаров А.С., Потапчук І.М.
DOI: 10.24144/2414-0260.2023.2.62-69

характерних для процесу переміщення досліджуваної дисперсної системи по трубах, введений коефіцієнт $K_{\mu t}$ [10]:

$$K_{\mu t} = \frac{\mu_{ei}}{\mu_{e20}}$$

де μ_{ei} – ефективна в'язкість при даній температурі; μ_{e20} – ефективна в'язкість при температурі 20 °С.

На Рис. 3 приведено одержану відповідну залежність.

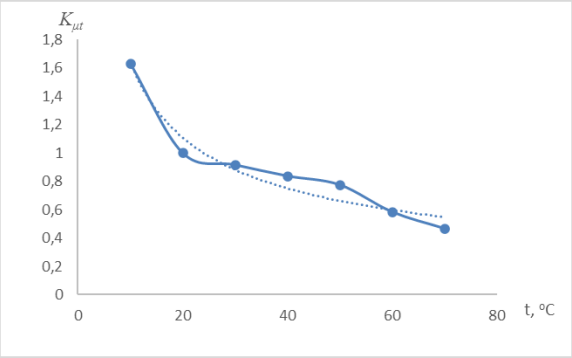

Рис. 3. Залежність коефіцієнта зміни ефективної в'язкості ($K_{\mu t}$) від температури для одержаної масло-водо-вугільної дисперсні системи.

Аналіз кривих, наведених на Рис. 3, дозволив встановити, що характер залежності коефіцієнта $K_{\mu t}$ від температури носить складний характер і корелює з гістерезисними характеристиками. З цього аналізу випливає, що в діапазоні температур від 10 °С до 20 °С спостерігається різка зміна реологічних характеристик паливних систем (в 2 рази), що обумовлено ступенем зміни в'язкості моторного масла. Однак при подальшому зростанні температури спостерігається суттєве зменшення величини зміни ефективної в'язкості від температури. Водночас при підвищенні температури в діапазоні від 60 °С до 70 °С спостерігається незначне зниження темпів зміни реологічних характеристик для досліджених масло-водовугільних палив. Також слід зазначити, що апроксимаційна залежність для розрахунку коефіцієнта $K_{\mu t}$, запропонована в роботі [10], має незначне відхилення (Рис. 3).

Висновки

В ході аналізу результатів проведених досліджень щодо визначення залежності реологічних характеристик масло-водо-вугільних палив від температури встановлено, що відбувається різке зниження (до 2 разів) в'язкості середовища при підвищенні температури від 10°С до 20°С. Подальше зростання температури призводить до меншого зниження величини зміни ефективної в'язкості. При зростанні температури в діапазоні від 60°С до 70°С спостерігається незначне зниження темпів зміни реологічних характеристик.

Оскільки 49% масло-водо-вугільного палива становить відпрацьоване моторне масло, тому зміна його в'язкості обумовлена мірою зміни в'язкості моторного масла. Вплив температури на в'язкість масла залежить від його хімічного складу. Відомо [11], що коефіцієнт в'язкості – безрозмірна умовна величина, що характеризує ступінь зміни в'язкості масла в залежності від температури і характеризується нахилом в'язко-температурної кривої. Тобто, чим більш полога в'язкісно-температурна крива, тим менше змінюється в'язкість зі зміною температури.

Для покращення в’язкісно-температурних властивостей, тобто підвищення величини коефіцієнта в'язкості, готують загущені масла, які мають хороші в'язкісно-температурні властивості (тобто ці масла мало змінюють свою в'язкість зі зміною температури) завдяки додаванню в'язкісних присадок. Незагущене масло змінює свою в'язкість в залежності від температури більш різкіше, порівняно із загущеним маслом. Тому можна зробити припущення, що в нашому випадку дисперсна фракція вугілля сприяє зменшенню коливання в’язкості від температури.

Відпрацьоване моторне масло Comma Xtech 5W-30 належить до синтетичних масел, які отримують збалансовану кількість присадок, що взаємодоповнюють дію один одного. Вони дозволяють маслу зберігати постійні в’язкісно-температурні параметри при будь-яких навантаженнях і температурах (як заявляють виробники) [9]. Однак з отриманих даних видно, що відносно стійка стабільність спостерігається тільки в діапазоні температур від 20°С до 70 °С. Можна припустити, що низька стабільність досліджених МВВП в інтервалі температур від 10°С до 20°С відбувається за рахунок різкого зниження в’язкості води.

© Косигіна І.М., Макаров А.С., Потапчук І.М.
DOI: 10.24144/2414-0260.2023.2.62-69

Встановлено, що для досліджених масло-водо-вугільної палив, які мають виражену тиксотропію, криві текучості, одержані при поступовому збільшенні напруги зсуву, співпадають з кривими текучості, що одержані при поступовому знятті навантаження. На основі отриманих експериментальних даних можна стверджувати, що масло-водо-вугільні палива після тривалого зберігання та гомогенізації зберігають високу текучість та стійкість. Це дає змогу транспортувати їх цистернами або трубопроводом і використовувати їх як паливо.

Також встановлено, що при додаванні 1% реологічної добавки та збільшенні температури величина в'язкості одержаних масло-водо-вугільних палив на основі вугілля марки «ДГ» зменшується, що сприяє зниженню енергетичних витрат при використанні їх в енергетичних установках шляхом розпилення через форсунки.

Список використаних джерел

1. Макаров А.С., Макарова К.В. Фізико-хімічні й технологічні основи формування коагуляційних структур технічних дисперсій. Київ: *Наукова думка*, 2020. С. 256.
2. Барук С.Д., Макаров А.С., Єгурнов О.І. Створення та властивості альтернативних видів палива на основі неконденсаційних та вторинних енергоресурсів. Чернівці: *Чернівецький нац. ун-т*, 2021. С. 281.
3. Колчунов В.І. Теоретична та прикладна гідромеханіка: навч. посібник. Київ: *Національний авіаційний університет*, 2004. С. 336.
4. Khil'ko S.L., Titov E.V., Fedoseeva A.A., Influence of strong electrolytes and temperature on the appearance of discontinuities in water–coal suspension flow. *Colloid J. 2001*, 63(6), 774–778. Doi: 10.1023/A:1013288307156.
5. Галущак О. О., Бурлака С. А., Галущак Д. О., Малаков О. І. Обґрунтування впливу температури компонентів сумішевого палива на роботу двигуна. *Вісник машинобудування та транспорту* 2019, №1(9), 38-43. DOI: https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-9-1-38-43
6. Savitskaya T.A. The effect of water-soluble polymers on the stability and rheological properties of suspensions of fibrous activated charcoal. *Colloid J.* 2006, 68(1), 86–92. Doi: 10.1134/S1061933X0601011X.
7. Косигіна І.М., Макаров А.С., Кручко І.М. Вплив гранулометричного складу твердої дисперсної фази на реологічні властивості масло-водо-водо-вугільних дисперсійних систем на основі антрациту. *Вуглехімічний журнал*. 2020, 4, 4–8.
Doi: 10.31081/1681-309X-2020-0-4-4-8.
8. Січевий О.В., Левицька О.Г., Долженкова О.В., Золотько О.В. Порівняльна оцінка активованих вугіль в процесах сорбції нафтопродуктів легкої та середньої фракцій. *Вісники НТУ "ХПІ"*, 2017. 48 (1269), 11-15.
9. Engine oil Comma XTech 5W-30. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.isingle.com.ua/catalog/comma/xtech_5w_30_4x4lt/.
10. Круть А.А. Розробка фізико-технічних основ технологій приготування та гідротранспорту висококонцентрованих вуглеводневих суспензій. Дніпропетровськ: *Дніпропетровська Національна акад. наук України*, 2011. С. 279.
11. Viscosity index. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://wiki.anton-paar.com/en/viscosity-index/#determination-of-the-viscosity-index.

Стаття надійшла до редакції: 23.08.2023.

RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF OIL-WATER-COAL DISPERSION SYSTEMS BASED ON DG COAL AND COMMA XTECH 5W-30 WASTE OIL

Kosygina I.M., Makarov A.S., Potapchuk I.M.

A. V. Dumanskyi Institute of Colloid Chemistry and Water Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, 42 Akademika Vernadskyi Boulevard, Kyiv, 03142. kosygina@ukr.net

Nowadays, the problem of the shortage of energy carriers, their economy, environmental friendliness, and the possibility of combining various clean or spent products of fuel materials for their fuller use and obtaining maximum energy is becoming more and more common. One of the effective

© Косигіна І.М., Макаров А.С., Потапчук І.М.
DOI: 10.24144/2414-0260.2023.2.62-69

solutions to this problem is the development of composite fuel, which consists of coal of different degrees of metamorphism, as well as liquid dispersion media of different chemical nature. The most famous liquid fuel is hydrocarbon fuel, which has several advantages over the burning of pure coal. But one of its disadvantages is its low caloric content due to its content of up to 40% of water by mass of coal. For rational burning of coal-based fuel, it is advisable to limit the water content to 10-15%. Therefore, it was proposed to replace part of the water environment with organic liquids - used oils, oil sludge, and safflower oils. For oil-hydrocarbon fuels, it is important to have certain characteristics - viscosity and stability for transportation, storage, and spraying of these systems. At the same time, oil-hydrocarbon emulsions are affected by various external factors, such as temperature, changing their characteristics. Therefore, in this work, the influence of temperature on the rheological properties of oil-hydrocarbon fuels was studied. During the analysis of the results of the conducted studies, it was established that there is a sharp decrease in the viscosity of the medium when the temperature increases from 10 °C to 20 °C. A further increase in temperature leads to a smaller decrease in the change in effective viscosity and at a temperature in the range from 60 °C to 70 °C, a slight decrease in the rate of change in rheological characteristics is observed. The obtained data indicate that transportation of OHCS by tanks or pipelines will not significantly affect the fluidity and stability of the systems.

Keywords: composite fuel; oil-hydrocarbon emulsion; long-flame gas coal; temperature dependence.

References

1. Makarov A.S., Makarova K.V. Fizyko-khimichni y tekhnolohichni osnovy formuvannia koahuliatsiinykh struktur tekhnichnykh dyspersii. Kyiv: *Naukova dumka*, 2020. S. 256 [in Ukr.].
2. Baruk S.D., Makarov A.S., Yehurnov O.I. Stvorennia ta vlastyvosti alternatyvnykh vydiv palyva na osnovi nekondensatsiinykh ta vtorynnykh enerhoresursiv. Chernivtsi: *Chernivetskyi nats. un-t*, 2021. S. 281 [in Ukr.].
3. Kolchunov V.I. Teoretychna ta prykladna hidromekhanika: navch. posibnyk. Kyiv: *Natsionalnyi aviatsiinyi universytet*, 2004. S. 336 [in Ukr.].
4. Khil'ko S.L., Titov E.V., Fedoseeva A.A., Influence of strong electrolytes and temperature on the appearance of discontinuities in water–coal suspension flow. *Colloid J. 2001,* 63(6), 774–778. Doi: 10.1023/A:1013288307156.
5. Galushchak O.O., Burlaka S. A., Galushchak D. O., Malakov O. I. Justification of the influence of the temperature of the fuel mixture components on the operation of the engine. *Bulletin of mechanical engineering and transport*. 2019, 1(9), 38-43. DOI: https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-9-1-38-43 [in Ukr.].
6. Savitskaya T.A. The effect of water-soluble polymers on the stability and rheological properties of suspensions of fibrous activated charcoal. *Colloid J*. 2006, 68(1), 86–92. Doi: 10.1134/S1061933X0601011X.
7. Kosyhina I.M., Makarov A.S., Kruchko I.M. Vplyv hranulometrychnoho skladu tverdoi dyspersnoi fazy na reolohichni vlastyvosti maslo-vodo-vodo-vuhilnykh dyspersiinykh system na osnovi antratsytu. *Vuhlekhimichnyi zhurnal*. 2020, 4, 4–8. Doi: 10.31081/1681-309X-2020-0-4-4-8 [in Ukr.].
8. Sichevy O.V., Levitska O.G., Dolzhenkova O.V., Zolotko O.V. Comparative evaluation of activated carbons in the processes of sorption of light and medium oil products. Bulletin of NTU "KhPI", 2017. 48 (1269), 11-15. [in Ukr.]
9. Engine oil Comma XTech 5W-30. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.isingle.com.ua/catalog/comma/xtech_5w_30_4x4lt/.
10. Krut A.A. Rozrobka fizyko-tekhnichnykh osnov tekhnolohii pryhotuvannia ta hidrotransportu vysokokontsentrovanykh vuhlevodnevykh suspenzii. Dnipropetrovsk: *Dnipropetrovska Natsionalna akad. nauk Ukrainy*, 2011. S. 279 [in Ukr.].
11. Viscosity index. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://wiki.anton-paar.com/en/viscosity-index/#determination-of-the-viscosity-index.

© Косигіна І.М., Макаров А.С., Потапчук І.М.
DOI: 10.24144/2414-0260.2023.2.62-69