

## МАКАРОВ

**Анатолій Семенович** –  
доктор технічних наук, завідувач  
відділу фізико-хімічної механіки  
дисперсних систем Інституту  
колоїдної хімії та хімії води  
ім. А.В. Думанського НАН  
України

## КОСИГІНА

**Ірина Михайлівна** –  
кандидат технічних наук,  
науковий співробітник відділу  
фізико-хімічної механіки  
дисперсних систем Інституту  
колоїдної хімії та хімії води  
ім. А.В. Думанського НАН  
України

## КРУЧКО

**Ірина Миколаївна** –  
провідний інженер відділу  
фізико-хімічної механіки  
дисперсних систем Інституту  
колоїдної хімії та хімії води  
ім. А.В. Думанського НАН  
України

# ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИЦІЙНОГО РІДКОГО ПАЛИВА В ЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ

*У статті запропоновано застосування на підприємствах енергетичного комплексу замість вугілля композиційного рідкого палива з метою зменшення шкідливого впливу на довкілля і підвищення коефіцієнта корисної дії теплових електростанцій. Обґрунтовано доцільність використання в промислових енергоустановках композиційного рідкого палива, показано його переваги порівняно з традиційними видами енергетичного палива. Запропоновано технологічну схему приготування композиційного палива на основі вугілля і рідких органічних відходів з добавками пластифікаторів та стабілізаторів, яка дозволяє не лише утилізувати промислові відходи, що містять органічні речовини, а й знизити рівень викидів шкідливих речовин.*

**Ключові слова:** композиційне рідке паливо, водо-вугільне паливо, масло-вугільне паливо, теплові електростанції.

Енергетична галузь відіграє ключову роль у соціально-економічному розвитку будь-якої країни, оскільки забезпечення економіки та суспільства енергетичними ресурсами є запорукою успішного функціонування економіки. Основу енергетичної галузі України становлять атомні і теплові електростанції. З огляду на нинішню ситуацію в енергетиці можна стверджувати, що наявні проблеми в секторі теплової енергетики зумовлюють доцільність оперативного вжиття заходів, спрямованих на підвищення ефективності експлуатації вітчизняних ТЕС.

Більшість енергоблоків теплових електростанцій України розраховані на використання вугільного палива. Так, за офіційними даними Міністерства енергетики та вугільної промисловості України, потужність усіх енергоблоків ТЕС становить 29,36 ГВт, з них вугільних енергоблоків – 21,8 ГВт, що відповідає 41 % загальної потужності енергосистеми України. Максимальний коефіцієнт корисної дії (ККД) українських вугільних ТЕС становить у середньому 29–31 %, тоді як у європейських країнах цей показник наближається до 45 % [1]. При цьому питомі витрати умовного палива на ТЕС України дуже великі і в разі роботи ТЕС на антрациті в середньому становлять 397,1 г у.п./1 кВт·год, що в 1,5 раза вище, ніж на європейських ТЕС [1–3].

Для вироблення електроенергії на вугільних ТЕС генеруючих компаній України потрібно щороку 24 млн т кам'яного вугілля, 865 тис. т природного газу, 71,4 тис. т мазуту [1] і 2 млрд м<sup>3</sup> води [3].

Однією з найгостріших проблем ТЕС України є їх екологічна небезпека, оскільки на станціях переважно немає установок для сірко- і азотоочищення, внаслідок чого димові гази на виході з котлів залишаються неочищеними. Використання вугілля як енергоносія порівняно з іншими видами палива має найбільш негативні наслідки для навколишнього середовища і здоров'я людини [4]. Великий вміст домішок, мінеральних компонентів, сірки, азоту, важких металів значною мірою обмежує повсякденне застосування вугілля. Низька екологічна прийнятність вугілля зумовлена тим, що в процесі його спалювання виділяються азото- і сірковмісні оксиди (NO<sub>x</sub> і SO<sub>x</sub>), леткі органічні сполуки (зола і пил), значні обсяги вуглекислого (CO<sub>2</sub>) та чадного (CO) газів на одиницю виробленої енергії, а також сліди різних металів, які можуть розсіюватися на великих площах і серйозно впливати на здоров'я людини. Крім того, спалювання вугілля на теплових електростанціях пов'язане з утворенням великої кількості золошлакових відходів, які містять (у разі використання антрацитового вугілля) до 30 % маси незгорілого вугілля (недопалу), що є однією з причин низького коефіцієнту корисної дії українських ТЕС. Ці відходи накопичуються в золовідвалах і потребують подальшої утилізації [5].

ТЕС становлять також певну екологічну небезпеку як масштабні забруднювачі водних басейнів. На них припадає до 70 % промислового забору води з природних джерел. Традиційні схеми очищення води передбачають споживання великої кількості хімічних реагентів: коагулянтів та флокулянтів — для попереднього очищення, сірчаної кислоти та гідроксиду натрію — для регенерації іонообмінних фільтрів (понад 600 т на рік для однієї ТЕЦ потужністю 250 МВт). Ще одним недоліком є утворення великих обсягів високомінералізованих стічних вод і шламів, утилізація яких доволі складна.

Слід також відзначити прямий і непрямий вплив теплової енергетики на місцеві ландшафти, які зазнають істотних змін як через захоронення золи, шлаків, так і внаслідок видобутку, транспортування та зберігання палива.

Останнім часом українські ТЕС зіткнулися з ще однією проблемою, пов'язаною зі значними технологічними ускладненнями та істотним зростанням економічних витрат. Так, деякі станції змушені були відмовитися від антрациту і перейти на використання газового вугілля. Однак застосування газового вугілля, у свою чергу, має низьку серйозних недоліків через підвищені рівні виділення з нього летких компонентів і високу небезпеку займання — якщо в процесі перероблення такого вугілля до нього потрапить більш як 16 % кисню, станеться вибух або пожежа.

Отже, вирішення зазначених вище екологічних проблем теплових електростанцій потребує розроблення і впровадження нових екологічно чистих технологій, які могли б забезпечити прийнятність для навколишнього середовища і вищий ступінь використання палива, тобто збільшення ККД станцій. Фахівці шукають методи підвищення ефективності енергетичних і транспортних установок з одночасним зменшенням їх негативного впливу на довкілля. Відомі на сьогодні методи можна умовно поділити на дві групи:

- 1) удосконалення конструкцій енергогенеруючих агрегатів і двигунів;
- 2) поліпшення експлуатаційних властивостей використовуваного палива.

Однак можливості удосконалення наявних конструкцій, наприклад енергетичних котлів, а для транспортних установок — двигунів внутрішнього згорання, вже підійшли до своєї технологічної межі. Подальше збільшення ККД досягається значним ускладненням агрегатів, встановленням додаткових пристроїв, що часто спричиняє непропорційне збільшення їх вартості.

Тому більш перспективним на сьогодні є другий напрям — не лише поліпшення характеристик традиційних органічних палив, а й створення нових енергоефективних техно-

логій з можливістю утилізації різних енергомістких відходів, зокрема відходів вугільного і нафтового походження, побічних сполук органічного синтезу, відпрацьованих змащувально-охолоджувальних суспензій, відходів харчової, спиртової та целюлозної промисловості, барвників тощо. Промислові й побутові стічні води також містять значну частку органічної складової. Всі ці відходи є енергонасиченими і їх можна використовувати при розробленні технологій одержання рідкого композиційного палива. Освоєння технологій ефективною утилізації цих промислових відходів стає актуальним завданням для енергетичної галузі, оскільки дозволяє істотно зменшити негативний вплив роботи теплових електричних станцій на навколишнє середовище.

Спалювати на ТЕС відходи вуглевидобутку і нафтопереробки в їхньому первісному стані досить проблематично, адже цей процес потребує заміни топкових камер, модифікації систем приготування, транспортування і зберігання палива. Тому створення композиційних рідких палив становить інтерес, оскільки їх використання в режимах роботи ТЕС, а також котелень та інших енергетичних установок не потребує значних конструктивних змін [6].

Композиційне рідке паливо (КРП) являє собою стійку паливну суміш на основі двох і більше компонентів, для приготування якої використовують сучасні вискоелективні пристрої, такі як дезінтегратори, вібрмлини, апарати вихрового шару, проточні млини-активатори, кавітаційні апарати.

Застосування композиційних рідких палив на основі вугілля є перспективним з кількох причин [7–9]. По-перше, їх основу може становити вугілля різних марок, зокрема буре вугілля, використання якого як енергетичної сировини пов'язане з певними труднощами через його високу вологість та схильність до самозаймання. Крім того, можна застосовувати вугілля, що добувають гідравлічним способом, вугілля дрібних класів, вугільні шлами [8]. По-друге, відповідним підбором компонентів можна отримувати паливо із заданими властивостями для використання його в різних

енергетичних агрегатах. Водночас застосування композиційного рідкого палива дозволяє підвищити повноту згоряння твердих частинок завдяки ефекту «мікробибуху» крапель суспензії. При цьому знижується максимальна температура горіння, а відповідно, і викиди сажі, бензо(а)пірену і оксидів азоту [9].

Роботи зі створення композиційних і емульсійних палив із заданими експлуатаційними властивостями вітчизняні й зарубіжні вчені почали проводити ще в 70-х роках минулого століття. Наприклад, у дослідженні [10] наведено класифікацію таких палив, яка охоплює водо-вугільні, водо-мазутні, мазутно-вугільні, метанол-вугільні та інші види палива. У цих роботах простежується прагнення дослідників вирішити одразу кілька основних завдань: по-перше, знизити викиди забруднюючих речовин завдяки інтенсифікації процесу спалювання і взаємовпливу компонентів; по-друге, використати як один з горючих компонентів відходи виробництва та переробки, зокрема вугільні та нафтові шлами, замазучені стоки тощо; по-третє, знизити вартість палива завдяки використанню дешевших і більш доступних складових. Найбільшого прогресу в цьому плані вдалося досягти у використанні водо-вугільних палив — є досвід їх успішного промислового застосування як палива для котлів і дизельних двигунів [11].

Водо-вугільне паливо (ВВП) — це висококонцентрована дисперсна система, яка складається з дисперсної фракції вугілля будь-якої калорійності як горючої основи і рідкої фази, що містить воду та органічні відходи виробництва з добавками пластифікаторів і стабілізаторів [12]. Добавки вводять у суспензію для зниження її в'язкості й опору, а також для забезпечення агрегативної і седиментаційної стійкості за високих концентрацій твердої фази в системах.

Як рідку фазу можна використовувати стічні води промислових виробництв. Індустріальні стічні води зазвичай містять органічні речовини, ПАРи, агресивні окиснювачі, кислоти, луги. Проблема їх утилізації полягає в різноманітності компонентного і сольового

складу, а також у великих обсягах стічних вод. Їх демінералізація і детоксикація потребує застосування таких високовартісних методів, як зворотний осмос, іонний обмін, електродіаліз. При цьому агресивні компоненти стічних вод інтенсифікують процеси зношення апаратури внаслідок корозії [13, 14]. Скидання недовістих очищених вод підвищує екологічне навантаження на навколишнє середовище і ускладнює використання природних водойм як джерел промислового і питного водопостачання [13, 15].

Проте неочищені індустріальні стічні води можна використовувати для виготовлення суспензійного палива, комплексно вирішуючи при цьому проблему їх утилізації та знижуючи водовитрати на приготування суспензії.

За характеристиками горіння, умовами спалювання і ступенем вигорання вуглецю водо-вугільне і композиційне рідке палива значно відрізняються від вугілля, наближаючись до рідких палив. Мінеральні компоненти вугілля при вигоранні краплі агломеруються, утворюючи високопористі сфери, що дозволяє вести процес горіння з малим надлишком повітря, що приводить до підвищення теплоти згорання вугілля [12]. Дрібнодисперсні частинки золи при згоранні об'єднуються у великі (0,3–0,5 мкм), міцні, пористі ксеносфери, які легко виділяються у звичайних механічних сепараторах. Ступінь уловлювання таких зольних агломератів досягає 99,0–99,5 %, що значно знижує рівень викидів твердих частинок в атмосферу (табл. 1) [16].

Однак впровадження і використання технології водо-вугільного палива має низку об-

межень. Це насамперед низька температура горіння і незначне виділення тепла, а крім того, нестабільні характеристики пластичності в разі тривалого зберігання, що зумовлює необхідність введення хімічних добавок.

Тому цікавим і перспективним напрямом є приготування й використання масло-водо-вугільних палив. Причому сферою їх застосування може бути не лише енергетика, а й транспорт, особливо суднові й тепловозні двигуни. Серед судових дизельних двигунів найкращі перспективи використання цього палива мають низькооборотні двигуни, які зазвичай працюють на важких видах нафтового палива [18].

Крім того, нижча ціна масло-водо-вугільних палив порівняно з нафтовим сприятиме зменшенню собівартості перевезень. У процесі приготування масло-водо-вугільних емульсій як рідкий горючий компонент можна використовувати відходи нафтовидобутку і нафтопереробки, відпрацьовані горючі рідини (моторні, трансформаторні, турбінні масла), емульсії, суспензії, промислові стоки та інші рідкі органічні відходи. Це водночас дозволить вирішити й екологічні проблеми, адже збільшення обсягів споживання нафтопродуктів у транспортній та енергетичній галузях та активний розвиток промисловості, особливо нафтохімічної і нафтопереробної, призводить до накопичення великих обсягів відходів у вигляді відпрацьованих масел, нафтошламів та інших нафтовмісних рідин [19, 20–22]. Так, у світі щороку акумулюються такі обсяги відпрацьованих нафтопродуктів:

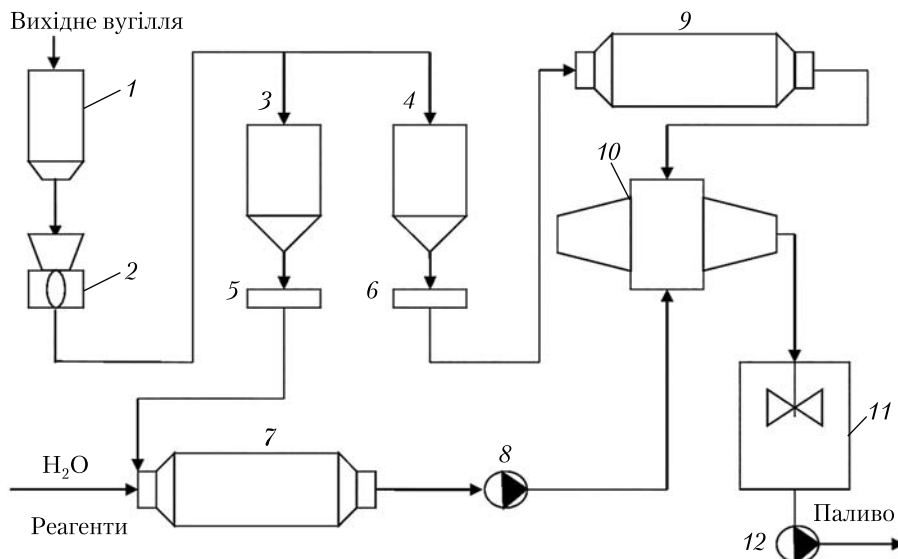
- моторних масел — 30–40 млн метричних тонн [20–22];
- енергетичних масел — 32–35 млн метрич. т [23];
- нафтошламів — 60 млн метричних тонн (загалом у світі їх уже накопичено понад 1 млрд метричних тонн) [19].

Накопичення і складування подібних нафтових відходів не завжди є надійним способом їх зберігання з метою подальшої утилізації або регенерації. Потрапляючи в різні стоки і водойми, нафтові компоненти можуть завдати великої шкоди навколишньому середовищу [24].

**Таблиця 1. Кількість шкідливих речовин у продуктах згорання різних видів палива**

Шкідлива речовина	Вміст у продуктах згорання, г/м <sup>3</sup>			
	вугілля	мазут	газ	КРП
Пил, сажа	100–300	2–5	0,5	1–5
Оксиди азоту	250–600	150–750	50–200	30–100
Оксиди сірки	400–800	400–700	—	100–200

Принципова технологічна схема приготування паливних дисперсних систем на основі вугілля та рідких органічних відходів: 1 – бункер вихідного вугілля; 2 – дробарка; 3, 4 – бункери подрібненого вугілля; 5, 6 – дозатори; 7 – кульовий млин; 8, 12 – насоси; 9 – колоїдний млин; 10 – гомогенізатор; 11 – ємність для зберігання палива



Вирішити проблему утилізації відходів можна завдяки їх застосуванню як палива на ТЕС, у котельнях та інших енергетичних установках для отримання теплової та електричної енергії. Однак у первісному стані вони для цього непридатні, а тому з них доцільно готувати масло-водо-вугільні емульсії, для спалювання яких не потрібні значні конструктивні зміни [8–10].

Технології отримання висококонцентрованих масло-водо-вугільних емульсій для виробництва рідкого палива для енергогенеруючих установок мають відповідати теплотехнічним вимогам, пов'язаним з максимальним наповненням дисперсійного середовища частинками вугілля, а також стабільністю продукції протягом тривалого часу для можливості її транспортування та зберігання [11–14]. Досягнення максимального ступеня наповнення суспензій ускладнено тим, що зі зростанням концентрації дисперсної фази збільшується в'язкість суміші.

Залежно від технології спалювання масло-водо-вугільних емульсій вимоги до в'язкості можуть різнитися, але, як правило, цей показник не перевищує 1,0–1,5 Па·с. Знизити в'язкість емульсій можна методом адсорбційного модифікування поверхні частинок вугілля за допомогою введення в систему

хімічної добавки, наприклад поверхнево-активної речовини. При виборі хімічної добавки для отримання стійких і водночас текучих висококонцентрованих енергомістких масло-водо-вугільних емульсій потрібно враховувати ефективність їх впливу на три основні фізико-хімічні процеси: змочування твердої поверхні, диспергування твердої фази під час механоактивації і стабілізацію системи. Від цих факторів залежатиме характер дисперсної структури, її реологічні властивості, а також агрегативна і седиментаційна стійкість.

У роботі [6] проведено екологічний, енергетичний та економічний аналіз застосування масло-водо-вугільного палива. Наведені оцінки в першому наближенні свідчать про значний потенціал таких палив завдяки можливостям масштабної утилізації багатьох небезпечних відходів, заміни дорогих і дефіцитних видів палива, диверсифікації сировинного ринку, а також вирішення низки проблем, що виникають при експлуатації пилувугільних котелень і ТЕС (пожежо- і вибухонебезпечність вугільного пилу, забруднення атмосфери викидами шкідливих речовин тощо).

Загалом процес приготування композиційного рідкого палива складається з кількох стадій (див. рис.). Вихідне вугілля дроблять, після цього частину його подають для грубо-

го помелу, а решту — для тонкого помелу в млинах мокрим способом (аналогічно приготуванню водо-вугільного палива). При цьому можна вибухобезпечно молоти вугілля різного ступеня метаморфізму. Потім два види помелу змішують і подають у гомогенізатор, у якому відбувається безпосереднє змішування з органічними відходами та хімічними реагентами. Оскільки паливні дисперсні системи можуть бути у вигляді як суспензій, так і емульсій, у технології їх приготування застосовують також емульгатори. У разі використанні як дисперсійного середовища високов'язких нафтопродуктів процес може бути ускладнений проблемою агрегації частинок вугілля. Для однорідного їх розподілу в емульсії необхідно використовувати високооборотні механізми, які забезпечують максимальний контакт поверхні частинок із середовищем.

До складу композиційного рідкого палива входять такі компоненти:

- вугілля будь-якої марки — 40–60 %;
- вода або промислові стічні води із вмістом органічних речовин — 10–20 %;
- органічна складова — рідкі органічні відходи промислових виробництв (відпрацьоване моторне масло, сивушне масло, гліцерол, піролізна рідина тощо) — 10–30 %;
- стабілізатор — 1 %.

Ця технологія дозволить використовувати не лише дешевше вугілля, а й відходи виробництв з одночасним збільшенням теплотворної здатності на 15–20 % та повноти вигорання до 99,5–99,8 %, на відміну від 80 % при спалюванні вугілля (табл. 2).

**Таблиця 2. Теплотворна здатність і повнота вигорання вугілля та суспензій (концентрація вугілля 40 %), отриманих із застосуванням сивушних масел**

Марка вугілля	Вихідне вугілля		КРП	
	Q, МДж/кг	F, %	Q, МДж/кг	F, %
Б	20,0	80	24,2	99,5
ДГ	24,8	85	28,5	99,8
Т	27,5	85	30,0	98,1
А	31,0	75	31,5	98,0

Подавання композиційного рідкого палива через форсунки енергетичних установок забезпечує високий ступінь спалювання і, відповідно, знижує недопал, а також зменшує забруднення робочих поверхонь нагріву в котлоагрегатах ТЕС. Наявність у зоні горіння води у вигляді перегрітої пари сприяє більш тонкому розпорощенню вуглецевої основи внаслідок «мікробухів» суспензійних крапель [17].

У результаті завдяки більш повному вигоранню палива у димових газах зменшується кількість сажі, бензо(а)пірену і вторинних вуглеводнів. У разі використання композиційного рідкого палива, внаслідок його високої калорійності, в пічному просторі можна досягати температури до 1300 °С. Це дає можливість безпечно спалювати шкідливі органічні відходи різних виробництв або використовувати як рідке середовище паливної суміші відпрацьовані промислові стічні води. Як правило, промислові стічні води містять токсичні органічні речовини, але всі органічні токсиканти розкладаються за температури понад 1200 °С і повністю згоряють з форсунок у складі композиційного рідкого палива.

Стойке горіння в широкому інтервалі температур і висока енергетичність композиційного рідкого палива на відміну від водо-вугільного палива дозволяє використовувати його не лише в енергетичних установках великих електростанцій, а й у невеликих котельнях, а також на інших промислових об'єктах, оскільки вартість вироблення 1 Гкал тепла при спалюванні композиційного рідкого палива вдвічі нижча, ніж у разі використання традиційного палива.

Узагальнений аналіз досліджень, виконаних у лабораторіях і на пілотних установках, підтверджує технологічну можливість отримання в Україні суспензійного палива з вугілля різних марок, а також спалювання його в енергетичних установках побутового та промислового призначення. Використання композиційного рідкого палива на електрогенеруючих підприємствах може знизити рівень забруднення навколишнього середовища та підвищити ступінь спалювання.

Отже, використання дешевих паливних ресурсів у вигляді композиційного рідкого палива є дуже актуальним для енергетики, комунального господарства, побутової сфери та інших галузей економіки. Це паливо належить до доступних і екологічно чистих видів палива і відкриває нові можливості щодо реалізації політики енергозаощадження. Застосування композиційного рідкого палива дозволяє також вирішити проблему утилізації різних видів вугільних відходів, незалежно від їх складу. Крім того, порівняно з твердим паливом вартість однієї тонни композиційного рідкого палива з урахуванням вирівняної калорійності в середньому на 50 % менша [6].

За своїми характеристиками цей вид палива близький до мазуту, а за деякими параметрами навіть перевершує його. На відміну від мазуту композиційне рідке паливо дешевше, вирізняється кращими екологічними властивостями

і його можна виробляти з місцевих паливних ресурсів. За знижених температур це паливо має меншу в'язкість, ніж мазут, і його легше перекачувати без попереднього підігріву.

Перехід вугільних ТЕС з традиційного твердого палива (вугілля) на композиційне рідке паливо дозволить вирішити одразу кілька глобальних проблем:

1) утилізація широкого класу відходів вугле- і нафтопереробки. Причому можна не лише утилізувати вже накопичені відходи, а й запобігти накопиченню нових обсягів;

2) зниження рівня антропогенних викидів ( $SO_x$  – на 40 %,  $NO_x$  – на 20 %) на підприємствах вугільної енергетики, що зменшить їх негативний вплив на навколишнє середовище;

3) раціональне використання природних ресурсів, що пов'язано з потенційною економією на одних лише паливних витратах сотень мільйонів гривень щороку.

## REFERENCES

### [СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Perov M.O., Makarov V.M., Novytskyi I.Yu. Analysis of the demand of Ukrainian thermal power plants for steam coal with regard for requirements to fuel quality. *Probl. Zagal'n. Energ.* 2016. (3): 40–49. <https://doi.org/10.15407/page2016.03.028>  
[Перов М.О., Макаров В.М., Новицький І.Ю. Аналіз потреби ТЕС України в енергетичному вугіллі з урахуванням вимог до якості палива. *Проблеми загальної енергетики*. 2016. Вип. 3. С. 40–49.]
2. Khalatov A.A. Energy sector of Ukraine: modern state and nearest prospects. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2016. (6): 53–61. <https://doi.org/10.15407/visn2016.06.053>  
[Халатов А.А. Енергетика України: сучасний стан і найближчі перспективи. *Вісник НАН України*. 2016. № 6. С. 53–61.]
3. Serdyuk O.S. Current status and development prospects of Ukrainian TPPs. *Ekonomichnyy visnyk Donbasu*. 2016. (3): 4–10 (in Ukrainian).  
[Сердюк О.С. Сучасний стан та перспективи розвитку українських ТЕС. *Економічний вісник Донбасу*. 2016. № 3. С. 4–10.]
4. Volchyn I.A., Dunaevska N.I., Gaponych L.S., Chernyavskiy M.V., Topal O.I., Zasyadko Y.I. *Perspektyvy vprovadzhennia chystykh vuhilnykh tekhnolohii v enerhetyku Ukrainy (Prospects for the introduction of clean coal technologies in the energy industry of Ukraine)*. Kyiv: GNOSIS, 2013. (in Ukrainian).  
[Вольчин І.А., Дунаєвська Н.І., Гапонич Л.С., Чернявський М.В., Топал О.І., Засядько Я.І. *Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України*. Київ: ГНОЗИС, 2013.]
5. Makarov A.S., Kosygina I.M. The actual problems of the heat power industry of Ukraine and their solution. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2019. (4): 13–17. <https://doi.org/10.33070/etars.4.2019.02>  
[Макаров А.С., Косыгина И.М. Актуальные проблемы теплоэнергетики Украины и их решение. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2019. № 4. С. 13–17.]
6. Kurgankina M.A., Vershinina K.Yu., Ozerova I.P., Medvedev V.V. On the thermal power plants switching from traditional fuels to organic-water-coal fuel compositions. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2018. **329**(9): 72–82 (in Russian).

- [Курганкина М.А., Вершинина К.Ю., Озерова И.П., Медведев В.В. К вопросу о переходе тепловых электрических станций с традиционных топлив на органоводоугольные топливные композиции. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2018. Т. 329, № 9. С. 72–82.]
7. Gorlov E.G. Composite water-containing fuels from coals and oil products. *Khimiya tverdogo topliva*. 2004. (6): 50–61 (in Russian).  
[Горлов Е.Г. Композиционные водосодержащие топлива из углей и нефтепродуктов. *Химия твердого топлива*. 2004. № 6. С. 50–61.]
  8. Malyshev Yu.N. *Ugol' i al'ternativnaya ekologicheskii chistaya energetika. Obshcheekonomicheskiye aspekty (Coal and alternative clean energy. General economic aspects)*. Moscow, 2000 (in Russian).  
[Малышев Ю.Н. *Уголь и альтернативная экологически чистая энергетика. Общеэкономические аспекты*. Москва: Изд-во Академии горных наук, 2000.]
  9. Mokhov V.F., Gorlov E.G., Golovin G.S. Coal-hydrocarbon composite fuels from coals of Kuzbass. In: *Chemistry and environmentally friendly technologies for the use of coal*. Proc. Int. Conf. Moscow, 1999. P. 69–71 (in Russian).  
[Мохов В.Ф., Горлов Е.Г., Головин Г.С. Угольно-углеводородные композиционные топлива из углей Кузбасса. В кн.: *Химия и природосберегающие технологии использования угля: сборник трудов международной конференции*. Москва: Изд-во МГУ, 1999. С. 69–71.]
  10. Titov E.V., Khilko S.L. Production and use in the energy sector of environmentally friendly types of alternative fuels based on emulsions and suspensions. In: *Donbas-2020: nauka i tekhnika – proizvodstvu*. Proc. Sci. Conf. (5–6 February 2002, Donetsk). P. 626–631 (in Russian).  
[Титов Е.В., Хилько С.Л. Получение и использование в энергетике экологически чистых видов альтернативных топлив на основе эмульсий и суспензий. В кн.: *Донбас-2020: наука и техника – производству*. Матер. науч.-практ. конф. (5–6 февраля 2002, Донецк). С. 626–631.]
  11. Grekhov L.V. Research and problems of creating a diesel engine on coal suspensions. *Bezopasnost v tekhnosfere*. 2007. (5): 33–36 (in Russian).  
[Грехов Л.В. Исследование и проблемы создания дизельного двигателя на угольных суспензиях. *Безопасность в техносфере*. 2007. № 5. С. 33–36.]
  12. Makarov A.S. Prospects for the development and use of water-cooled fuel (review). *Technologies & Resource Saving*. 2018. (2): 3–9. <https://doi.org/10.33070/etars.2.2018.01>  
[Макаров А.С. Перспективы развития и использования водоугольного топлива. *Энерготехнологии та ресурсозбереження*. 2018. № 2. С. 3–9.]
  13. Pinchuk V.A., Gubinsky M.V., Potapov V.B. Use of water-coal fuel and products of its processing in power engineering and metallurgy. *Metallurhiina teplotekhnika*. 2008. (1): 221–227 (in Russian).  
[Пинчук В.А., Губинский М.В., Потапов В.В. Использование водоугольного топлива и продуктов его переработки в энергетике и металлургии. *Металургійна теплотехніка*. 2008. Вып. 1. С. 221–227.]
  14. Makarov A.S., Klishchenko R.E., Zavgorodni V.A., Makarova E.V. The impact of the water salt content on the properties of coal-aqueous suspensions. *J. Water Chem. Technol.* 2011. **33**(6): 357–362. <https://doi.org/10.3103/S1063455X11060026>  
[Макаров А.С., Клищенко Р.Е., Завгородний В.А., Макарова Е.В. Влияние солевого состава воды на свойства водоугольных суспензий. *Хімія і технологія води*. 2011. Т. 33. № 6. С. 601–611.]
  15. Pilipenko A.T., Goronovsky I.T., Grebenyuk V.D., Zapolsky A.K., Kucheruk D.D., Maksin V.I., Rud A.M., Zagorodnyuk A.K. *Kompleksnaya pererabotka shakhtnykh vod (Complex processing of mine waters)*. Kyiv, 1985 (in Russian).  
[Пилипенко А.Т., Гороновский И.Т., Гребенюк В.Д., Запольский А.К., Кучерук Д.Д., Максин В.И., Рудь А.М., Загороднюк А.К. *Комплексная переработка шахтных вод*. Киев: Техніка, 1985.]
  16. Murko V.I., Fedyayev V.I., Karpenok V.I., Dzyuba D.A. Results of the study of harmful emissions from the combustion of suspension coal fuel. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii*. 2012. **5**(5): 512 (in Russian).  
[Мурко В.И., Федяев В.И., Карпенко В.И., Дзюба Д.А. Результаты исследования вредных выбросов при сжигании суспензионного угольного топлива. *Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии*. 2012. Т. 5, № 5. С. 512.]
  17. Parres-Esclapez S., Illan-Gomez M.J., Salinas-Martinez de Lincea C., Bueno-Lopez A. On the importance of the catalytic redox properties in the N<sub>2</sub>O decomposition over alumina and ceria supported Rh, Pd and Pt. *Applied Catalysis B*. 2010. **96**(3-4): 370–378. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2010.02.034>
  18. Voznitsky I.V. *Praktika ispolzovaniya morskikh topliv na sudakh (The practice of using marine fuels on ships)*. St. Petersburg. 2005 (in Russian).



- [Возницкий И.В. *Практика использования морских топлив на судах*. Санкт-Петербург. 2005.]
19. BP Statistical Review of World Energy. 2016. <http://oilproduction.net/files/especial-BP/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>
  20. Tripathi A.K., Ojha D.K., Vinu R. Selective production of valuable hydrocarbons from waste motorbike engine oils via catalytic fast pyrolysis using zeolites. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2015. **114**: 281–292. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.06.009>
  21. Lam S.S., Liew K., Cheng C.K., Chase H.A. Catalytic microwave pyrolysis of waste engine oil using metallic pyrolysis char. *Applied Catalysis B*. 2015. **176-177**(1): 601–617. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.04.014>
  22. Чайка О.Г., Ковальчук О.З., Чайка Ю.А. Моніторинг утворення відпрацьованих оливо в Україні. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2009. № 644. С. 221–223.  
[Чайка О.Г., Ковальчук О.З., Чайка Ю.А. Моніторинг утворення відпрацьованих оливо в Україні. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2009. № 644. С. 221–223.]
  23. International Energy Outlook 2013, with projections to 2040. Washington: U.S. Energy Information Administration, 2013. [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2013\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2013).pdf)
  24. Kapustina V., Havukainen J., Virkki-Hatakka T., Horttanainen M. System analysis of waste oil management in Finland. *Waste Management & Research*. 2014. **32**(4): 297–303. <https://doi.org/10.1177/0734242X145236>

*Anatolii S. Makarov*

A.V. Dumansky Institute of Colloid Chemistry and Water Chemistry  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6077-4006>

*Irina M. Kosygina*

A.V. Dumansky Institute of Colloid Chemistry and Water Chemistry  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8277-9745>

*Irina M. Kruchko*

A.V. Dumansky Institute of Colloid Chemistry and Water Chemistry  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

#### THE COMPOSITE LIQUID FUEL FOR USE IN THE ENERGY INDUSTRY OF UKRAINE

Energy complex enterprises operating on traditional hydrocarbon energy resources, including solid fuel (coal), annually produce tens of millions of tons of ash and slag waste (ASW) and hundreds of millions of cubic meters of gaseous emissions. To reduce the harmful impact on the environment and increase the efficiency of thermal power plants, it is proposed to use liquid composite fuel instead of pulverized and layered coal combustion. The expediency of using composite liquid fuel (CLF) in industrial power plants is substantiated. The advantages of using CLF as an energy fuel in comparison with traditional fuels are shown. A technological scheme for the preparation of composite fuel based on coal and liquid organic waste, with the addition of plasticizers and stabilizers, is proposed. This technology allows not only to dispose of production waste containing organic substances, but also to reduce the amount of harmful substances formed during the combustion of various types of fuel.

**Keywords:** composite liquid fuel, water-coal fuel, oil-water-coal fuel, thermal power plants.