

**Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»  
Кафедра технології переробки нафти, газу та твердого палива**



**Державне підприємство  
«Український державний науково-дослідний вуглекімічний інститут  
(УХІН)»**



**Північно-Східний науковий центр  
НАН України і МОН України**



# **СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ПАЛЬНИХ КОПАЛИН**

**Тези доповідей  
II Міжнародної науково-технічної  
конференції**

**18-19 квітня 2019 року**

Харків 2019

## **Програмний комітет:**

### **Співголови:**

Рищенко І.М., д.т.н., проф., директор Інституту хімічної технології та інженерії  
НТУ «ХП»,  
Ковальов Є.Т., д.т.н., проф., директор ДП «УХІН».

### **Члени комітету:**

Васильєв Ю.С., д.т.н., проф., ДП «УХІН»,  
Мірошниченко Д.В., д.т.н., с.н.с., НТУ «ХП»,  
Чешко Ф.Ф., д.т.н., с.н.с., ДП «УХІН».

## **Організаційний комітет:**

### **Співголови:**

Мірошниченко Д.В., д.т.н., с.н.с., НТУ «ХП»,  
Борисенко О.Л., к.т.н., с.н.с., ДП «УХІН».

### **Члени комітету:**

Григоров А.Б., к.т.н., доц., НТУ «ХП»,  
Карножицький П.В., к.т.н., доц., НТУ «ХП»,  
Лаврова І.О., к.т.н., доц., НТУ «ХП»,  
Назаров В.Н., к.т.н., доц., НТУ «ХП»,  
Сінкевич І.В., к.т.н., доц., НТУ «ХП»,  
Скрипник Є.О., к.т.н., доц., НТУ «ХП»,  
Богоявленська О.В., к.т.н., НТУ «ХП»,  
Зеленський О.І., к.т.н., ДП «УХІН»,  
Тульська А.Г., к.т.н., НТУ «ХП»,  
Шумейко В.М., к.т.н., НТУ «ХП»,  
Білець Д.Ю., НТУ «ХП»,  
Терещенко О.О., НТУ «ХП»,  
Калекін Ю.В., ПСНЦ НАН України і МОН України.

Сучасні технології переробки паливних копалин: тези доповідей  
II Міжнародної науково-технічної конференції, 18-19 квітня 2019 р. / укл.  
Мірошниченко Д.В. – Харків, НТУ «ХП». – 84 с.

Подано тези доповідей науково-технічної конференції «Сучасні технології переробки паливних копалин» за теоретичними та практичними результатами наукових досліджень і розробок, які виконані викладачами вищої школи, науковими співробітниками, аспірантами, студентами, фахівцями різних організацій і підприємств.

# ЗМІСТ

## Секція І

### ПЕРЕРОБКА ТВЕРДИХ ГОРЮЧИХ КОПАЛИН

<b>Zubkova W., Strojwas A., Kaniewski M.</b> Influence of expired pharmaceuticals on thermal properties of lower rank coal .....	6
<b>Zubkova W., Strojwas A., Bielecki M.</b> Comparative study of pyrolytic behavior of selected biomass wastes originating in Ukraine .....	8
<b>Балаєва Я.С., Мірошніченко Д.В., Фатенко С.В., Чжан Сяобін</b> Формування якості кам'яновугільної смоли. Вплив газового вугілля .....	10
<b>Братичак М.М., Зубаль О.І., Швед М.Є., Астахова О.Т.</b> Бітум-полімерні суміші за участю інден-кумаронової смоли з епоксидними групами на основі легкої фракції кам'яновугільної смоли .....	12
<b>Братичак М.М., Швед М.Є., Астахова О.Т., Колісник А.Ю.</b> Дослідження можливості використання інден-кумаронової смоли з метакрилатними фрагментами в якості полімерного додатка для нафтових дорожніх бітумів .....	14
<b>Братичак М.М., Швед М.Є., Астахова О.Т., Колісник А.Ю.</b> Одержання інден-кумаронової смоли з карбоксильними групами з легкої фракції кам'яновугільної смоли .....	16
<b>Білець Д.Ю.</b> Пошук нового способу утилізації коксохімічних відходів .....	18
<b>Данило І.І., Крутько І.Г.</b> Отримання газонаповнених вуглецевих матеріалів на основі модифікованого кам'яновугільного пеку .....	20
<b>Дроздник І.Д., Мірошніченко Д.В., Шмельцер К.О., Кормер М.В.</b> Дослідження зміни фактичної маси вугільної сировини при її розморожуванні .....	22
<b>Зеленский О.И., Шмалько В.М., Костенко Р.И.</b> Получение графеновых структур из коксовой пыли .....	24
<b>Ковальова І.Б., Тищук В.Ю., Яготін А.С.</b> Підготовка вугільної шихти до коксування методом підпресування .....	26
<b>Кузьмініч А.О., Карножицкий П.В.</b> Очищення води за допомогою гуматів від іонів тяжких металів .....	28
<b>Кушнарєва Т.О., Сорокін Є.Л.</b> Технологічні властивості фракцій слабкоспікливого вугілля марки ДГ різної густини .....	31
<b>Логвінков С.М., Остапенко І.А., Шумейко В.М., Борисенко О.М., Малік І.К.</b> Вплив добавок вугілля на піропластичні властивості високоглиноземистих льоточних мас для доменних печей .....	33

<b>Лялюк В.П., Касім Д.О., Шмельцер К.О., Ляхова І.А., Кормер М.В., Сагалай Д.В.</b>	
Спосіб електроосмотичного зневоднення вугілля перед коксуванням .....	35
<b>Мірошніченко Д.В., Мірошніченко І.В., Шульга І.В., Балаєва Я.С., Терещенко О.О.</b>	
Теплота згорання доменного коксу. Фактори впливу .....	37
<b>Назаров В.М., Мірошніченко Д.В., Буй Ван Мінь</b>	
Сульфовугілля як каталізатори одержання оксигенатів .....	39
<b>Ніколайчук Ю.В.</b>	
Використання показника температури займання вугілля .....	40
<b>Сінкевич І.В.</b>	
Електрохімічне очищення стічних вод від сірководню на коксохімічних підприємствах .....	43
<b>Скрипник Є.О.</b>	
Кінетика сушіння гранул відходів флотації вугілля .....	45
<b>Слюзар А.В., Знак З.О., Калимон Я.А.</b>	
Хінгідронний метод очищення паливних газів від сірководню .....	47
<b>Соколова В.П., Даниленко О.Ю.</b>	
Флотаційне збагачення вугілля у сольовому середовищі .....	49
<b>Соколова В.П., Бондаренко В.Ю.</b>	
Коливання якості вугілля та підвищення ефективності його усереднення на коксохімічному виробництві .....	51
<b>Соломаха А., Малий Є.І.</b>	
Дослідження впливу кам'яновугільної смоли слабкоспікливого газового вугілля на дилатометричні показники шихт для процесу коксування .....	53
<b>Сорокин Е.Л.</b>	
Изучение особенностей структуры углей для эффективного использования .....	54
<b>Тищук В.Ю., Ковальова І.Б., Бобров М.Д.</b>	
Нейтралізація шкідливого впливу коксохімії на атмосферу .....	56
<b>Топал О.І., Гапонич Л.С., Голенко І.Л.</b>	
Аналіз видів альтернативного палива для ТЕС та промислових ТЕЦ України .....	58
<b>Фатєєв А.І., Дунаєвська Н.І., Шендрік Т.Г.</b>	
Зміна елементного складу органічної маси солоного вугілля при водному екстрагуванні .....	61
<b>Шишкіна А., Чемеринський М.С.</b>	
Енергетичне паливо з відходів виробництв .....	63
<b>Шульга І.В., Владимиренко В.В.</b>	
Питомий електричний опір як показник готовності коксу .....	64

**Секція II**  
**НАФТОПЕРЕРОБКА І НАФТОХІМІЯ, ХІМОТОЛОГІЯ**  
**ПАЛЬНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

<b>Бабатунде О.О., Бойченко С.В., Топільницький П.І., Романчук В.В.</b> Порівняння фізико-хімічних властивостей нафт родовищ Нігерії та України .....	65
<b>Богоявленська О.В., Троценко О.В., Кулебякін А.А.</b> Визначення товарних якостей газових конденсатів .....	67
<b>Григоров А.Б.</b> Температурний коефіцієнт ефективної в'язкості рециклінгових пластичних мастил .....	69
<b>Демідов Д.В., Сасенко Л.В.</b> Особливості визначення реологічних властивостей нафти та нафтопродуктів методом ротаційної віскозиметрії .....	71
<b>Демчук Ю.Я., Гунька В.М., Пиш'єв С.В., Сідун Ю.В.</b> Застосування феноло-крезоло-формальдегідної смоли в якості адгезійної добавки до асфальтобетонів .....	73
<b>Замікула К.О., Тertiшний О.О., Тertiшна О.В.</b> Математичне моделювання фазного стану нафтових дисперсних систем .....	75
<b>Мардупенко О.О., Троценко О.В.</b> Отримання бітумів з нафтових шламів .....	77
<b>Набіль Сатер, А.Б. Григоров, А.Г. Тульська, А.В. Чернявський</b> Експрес-метод визначення підготовленості нафти до технологічної переробки .....	79
<b>Топільницький П.І., Романчук В.В., Ярмола Т.В.</b> Особливості технології переробки важких нафт українських родовищ .....	81
<b>Шевченко О.Б., Ведь В.В., Попитайленко Д.В., Каменєва В.М.</b> Властивості метилових естерів жирних кислот одержаних кавітаційним методом .....	83

# СЕКЦІЯ І

## ПЕРЕРОБКА ТВЕРДИХ ГОРЮЧИХ КОПАЛИН

УДК 543.657.5:(083.76)

### INFLUENCE OF EXPIRED PHARMACEUTICALS ON THERMAL PROPERTIES OF LOWER RANK COAL

W. Zubkova, A. Strojwas, M. Kaniewski

*Institute of Chemistry, Jan Kochanowski University*

*The influence of a 2 wt % additive of expired paracetamol and naproxen on the course of pyrolysis process and the changes in volume of the carbonized charge of a commercial sample of lower rank coal was investigated. It was determined that the addition of paracetamol reduces the yield of solid product of pyrolysis of the sample of LRC by 0.47 %, the addition of naproxen – by 7.72 % in comparison with the sample without additives. It is suggested that the products of decomposition of the additives interact with low molecular compounds from the “mobile phase” that contain unsaturated chromophore groups, secondary alcohols and phenols, and evaporative mineral species and in this way take part in formation of heterorganic nanoobjects.*

**Keywords:** *lower rank coal, TG/FT-IR, UV-Vis, SEM.*

In our previous work [1] was determined, that the addition of expired paracetamol can facilitate the reactions with proton transfer but the addition of expired naproxen can initiate the reactions connected with electron transfer. The experimental results suggests, that the carbonized charge obtained from the blend of lower rank coal with paracetamol has a mass loss of the pyrolyzed charge lower than that in the blend with naproxen and a density higher than that in the charge of lower rank coal and its blend with naproxen.

Fig. 1 presents TG, DTG curves, and SEM micrographs of swollen grains from inside. The two types of objects visible at magnification of M20k (Fig. 1c) M10k (Fig. 1d) deserve more attention. These are two topological structures: hedgehog-like (Fig. 1d) and dumbbell-like ones (or spherical objects) (Fig. 1c) similar to an exotic flower.

The FT-IR spectra of the material extracted from the zone of swollen grains suggest that the contribution ratio of the compounds able to form hydrogen bonds and C=O groups decrease in this material under the influence of additives. On the other hand, the contribution ratio of ether bonds of C-O-C type and out-of-plane bend C<sub>ar</sub>-H increases. Moreover, paracetamol additive causes an increase in contribution ratio of C<sub>ar</sub>-H and C<sub>al</sub>-H bonds in the range of wavenumber of 3050-2800 cm<sup>-1</sup>. The obtained FT-IR spectra point out clearly to a different influence of paracetamol and naproxen additives on structural-chemical parameters of the extracts from the zones of the plastic layer of studied coal.

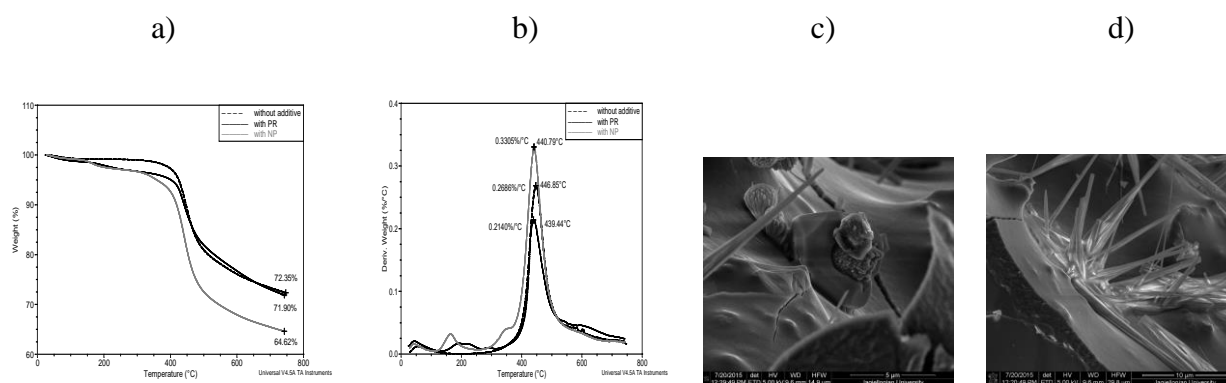


Fig. 1 – TG (a), DTG (b) curves of coal and their blends with additives and SEM micrographs (c, d) of swollen grains from charge of coal carbonized with paracetamol

It follows from the FT-IR spectra of this extract that a spontaneous self-association of compounds with low molecular mass into larger aggregate structures of shaped carbon material can be expected only under the influence of paracetamol additive.

### References

1. Zubkova V., Strojwas A., Kaniewski M., Ziomber S. Investigation of influence of the additives of expired paracetamol (PR) and naproxen (NP) on the changes in volume of heated charge of a higher rank coal // Fuel – 2018. – V. 217. – P 606 – 616.

## COMPARATIVE STUDY OF PYROLYTIC BEHAVIOR OF SELECTED BIOMASS WASTES ORIGINATING IN UKRAINE

W. Zubkova, A. Strojwas, M. Bielecki  
*Institute of Chemistry, Jan Kochanowski University*

The course of pyrolysis process of 3 different agricultural biomass wastes [corn stalks (CS), sunflower husks (SH) and walnut shells (WN)] were investigated in a high-purity nitrogen atmosphere. The analysis of volatile products of pyrolysis was conducted using infrared spectroscopy (IR). The biomass samples were also extracted in a microwave extractor. The extract yield was determined and analyzed by the ATR technique. The samples heated up to the temperature of 1000 °C were studied using X-ray diffraction.

The obtained results suggest that the temperature of the maximum on the curve of the mass loss rate shifts towards higher temperatures with an increase in mass at the temperature of 750 °C for the studied samples. It was determined on the basis of the comparison of the composition of volatile products of pyrolysis at the temperature of 300 °C, the analysis of the ATR spectra of biochar pyrolyzed at the temperature of 300 °C, and extracts that the content of compounds from the extracted material in the composition of the volatile products of pyrolysis amounts to about 1/5 for CS sample, for SH sample – circa 1/4, and about 1/6 for WN sample. The biochar from WN sample had the greatest degree of structural ordering.

**Keywords:** biomass, biochar, TG, FT-IR, XRD.

Fig. 1 presents the diffractograms of biochars obtained at 1000 °C and the SEM micrographs of biochars pyrolyzed at 750 °C. It follows from Fig. 1 that the shape of the profile of (002) line of biochar changes in the range from CS to WN and gains a greater integral intensity. This points out to a change in ordering degree of the carbonized material.

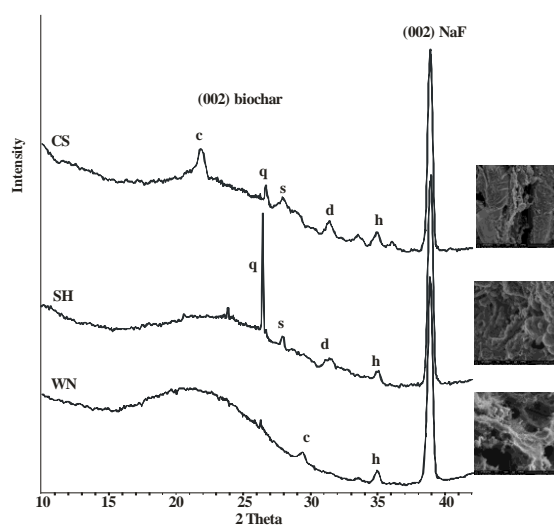


Fig. 1 – The diffractograms of biochars obtained at 1000 °C and the micrographs of biochars pyrolyzed at 750 °C

The analysis of ordered structure of the obtained biochars showed the greatest degree of ordering for the biochar of WN sample because it is characterized by the greatest content of volatile products and the lowest content of inorganic components.

Table 1

The parameters of structural ordering in samples of biochars

Samples	$d_{002}, \text{Å}$	$L_c, \text{Å}$	$C_{\text{cryst}}, \%$
CS	3.93	11.7	27.7
SH	3.78	10.6	31.6
WN	4.04	9.7	51.7

This suggests that the amount of volatile products emitted during pyrolysis and the content of inorganic components influence the degree of ordering of biochars of the studied samples. The inorganic components of the biomass undergo chemical transformation in different ways.

**ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ КАМ'ЯНОВУГІЛЬНОЇ СМОЛИ.  
ВПЛИВ ГАЗОВОГО ВУГІЛЛЯ****Я.С. Балаєва<sup>1</sup>, Д.В. Мірошніченко<sup>2</sup>, С.В. Фатенко<sup>1</sup>, Чжан Сяобін<sup>2</sup>**  
*<sup>1</sup>Державне підприємство «Український державний науково-дослідний  
вуглехімічний інститут (УХІН)»**<sup>2</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний  
інститут»*

*Внаслідок умов добутку та багатьох завантажувальних та розвантажувальних операцій імпортного вугілля має місце підвищення вмісту пилоподібних класів у вугільних шихтах одночасно зі зниженням в них загальної вологи.*

**Ключові слова:** *коксохімічне підприємства, вугілля, імпортне вугілля, вміст вологи, коксівна шихта, кам'яновугільні смоли, хінолін, жирне вугілля, газове вугілля.*

В останній час до коксохімічних підприємств України надходить вугілля Австралії, Канади, США, Індонезії, Казахстану тощо.

Особливості його елементного складу та фізико-хімічних властивостей впливає на технологічні показники та вихід хімічних продуктів коксування [1 – 5].

Метою роботи було дослідження впливу пилоподібного класу вугільної коксівної шихти на властивості отриманої з неї кам'яновугільної смоли, а саме ступеня її піролізу та вмісту вологи.

На підставі аналізу роботи Запорізького коксохімічного підприємства встановлено, що наявність у вугільних шихтах часток менш за 0,071 мм є додатковим фактором, що призводить до підвищення густини кам'яновугільної смоли та вмісту в ній речовин, що не розчинні у хіноліні.

Результатами лабораторних досліджень доведено, що погіршенню відстоювання кам'яновугільної смоли у ще більшій мірі сприяє попадання у неї вугільних часточок у процесі їх коксування. Встановлено, що найбільший негативний вплив на швидкість відстоювання кам'яновугільної смоли становить часточки жирного вугілля, що характеризується деяким комплектом гідрофільних та гідрофобних властивостей. Підвищенню стійкості обводненої кам'яновугільної смоли сприяє також зростання в неї частки класів вугілля менш ніж 5 мкм.

Підвищення вмісту газового вугілля у вугільних шихтах, а також підвищення ступеня його попадання у кам'яновугільну смоли не призводить до погіршення швидкості її відстоювання.

**Бібліографічний список**

1. Golovko M.B. Predicting the coke yield and basic coking byproducts: Ananalytic review / M.B. Golovko, D.V. Miroshnichenko, Y.S. Kaftan // Coke and Chemistry. 2011. Vol. 54(9). P. 331 – 338.

2. Miroshnichenko, D.V. Oxidation of pokrovskoe coal in laboratory and natural condition. 1. Kinetics of oxidation and technological properties / D.V. Miroshnichenko, I.D. Drozdnic, Y.S. Kaftan, N.A. Desna // Coke and Chemistry. 2015. Vol. 58(3). P. 79 – 87.

3. Miroshnichenko D.V. Compositions of coals and anthracites as bases for modeling their properties / D.V. Miroshnichenko, M.L. Ulanovskiy // KoksiKhimiya. 2003. No 4. P. 3 – 7.

4. Miroshnichenko D.V. Coking of coal bath different content of oxidized coal / D.V. Miroshnichenko, I.D. Drozdnic, Y.S. Kaftan, N.B. Bidolenko, N.A. Desna // Coke and Chemistry. 201. Vol. 55(5). P. 155 – 164.

5. Miroshnichenko D.V. Predicting the yield of coke and its byproducts on the basic of elementary and petrographic analysis: An analytic review / D.V. Miroshnichenko, M.B. Golovko // Coke and Chemistry. 2014. Vol. 57(3). P. 117 – 128.

### ***Formation of the quality of coal tar. Impact of gas coal***

Ya. S. Balayeva, Candidat of Technical Sciences, D.V. Miroshnichenko, Doctor of Technical Sciences, S.V. Fatenko, Zhang Xiaobin (SE “UKHIN”, NTU“KhPI”)

*Due to the conditions of the product and many loading and unloading operations of imported coal, there is an increase in the content of dusty grades in coal bombs at the same time as the decrease in their total moisture content.*

**Keywords:** *coke-chemical enterprises, coal, imported coal, moisture content, coke oven gas, coal tar, quinoline, greasy coal, gas coal.*

## БІТУМ-ПОЛІМЕРНІ СУМІШІ ЗА УЧАСТЮ ІНДЕН-КУМАРОНОВОЇ СМОЛИ З ЕПОКСИДНИМИ ГРУПАМИ НА ОСНОВІ ЛЕГКОЇ ФРАКЦІЇ КАМ'ЯНОВУГІЛЬНОЇ СМОЛИ

М.М. Братичак, О.І. Зубаль, М.Є. Швед, О.Т. Астахова  
Національний університет «Львівська політехніка»

*З використанням легкої фракції кам'яновугільної смоли, яка містить у своєму складі 5,75 % мас. кумарону та 44,5 % мас. індену, з додаванням гліцидилметакрилату та стиролу, з використанням як ініціатор монопероксидної похідної дігліциділового етеру Бісфенол А (ПО) отримана інден-кумаронова смола з епоксидними групами (ІКСЕ). ІКСЕ вивчена як полімерний додаток до бітум-полімерних сумішей (БПС). Встановлено вплив кількості ІКСЕ, температури та тривалості на експлуатаційні характеристики БПС. Досліджено структурно-груповий склад БПС. З використанням ІЧ-спектроскопії встановлена структура ІКСЕ, нафтового бітуму та БПС.*

**Ключові слова:** *інден-кумаронові смоли, модельні системи, епоксидні групи, бітум-полімерні суміші, ІЧ-спектроскопія.*

Відомо [1, 2], що для поліпшення експлуатаційних характеристик нафтових бітумів використовуються різні добавки. Значне поліпшення якості нафтових бітумів досягається за рахунок введення полімерів [1, 2]. Інден-кумаронові смоли з вільними епоксидними групами (ІКСЕ), які були описані раніше [3], також можуть бути віднесені до полімерів з функціональними групами. Такі смоли отримують шляхом радикальної полімеризації мономерів легкої фракції кам'яновугільної смоли в присутності пероксидної похідної діоксифенілпропанудигліциділового етеру (ПО) [3]. Вихідним матеріалом для синтезу ІКСЕ була світла фракція кам'яновугільної смоли (ЛФКВС), відібрана на ПАТ «Запоріжжкокс» (Україна).

Радикальну коолігомеризацію світлої фракції кам'яновугільної смоли (LFCT) проводять в металічній ампулі об'ємом 1,0 л. Радикальна коолігомеризація відбувається протягом 6 год. за температури 120 °С. Після закінчення коолігомеризації ампулу охолоджують до кімнатної температури, реакційну суміш переносять у перегонну колбу та вакуумною дистиляцією відганяють непрореаговану сировину від цільового продукту (ІКСЕ). Отриманий залишок висушують у вакуум-сушильній шафі за температури 313 К до постійної маси.

Синтезовані СІРЕ характеризуються молекулярною масою 571 г/моль і вмістом епоксидних груп 1,9 %. Присутність індену, кумарону, стиролу та епоксидних фрагментів у синтезованих смолах підтверджували ІЧ-спектроскопією. Наявність вільних епоксидних груп в ІКСЕ дозволяє розглядати їх як активні добавки до різних сумішей. Додавання ІКСЕ до чистого бітуму БНД 60/90 значно покращує його адгезію. Визначено оптимальні умови для приготування бітум-полімерних сумішей (БПС):

99 мас. % бітуму БНД 60/90 + 1 мас. % ІКСЕ; температура 463 К; час приготування 60 хв. За таких умов адгезія ВРВ становить 89 %. Вміст асфальтенів та смол у модифікованому бітумі зростає при одночасному зниженні вмісту олії на 3,9 %. Відсутність смуг поглинання, характерних для епокси- та гідроксигруп у ІЧ-спектрах ВРВ, вказує на їх хімічну взаємодію під час утворення БПБ.

Структурно-груповий аналіз бітум-полімерних сумішей вказує на те, що введення у таку суміш епоксидної сполуки приводить до збільшення у сумішах вмісту смол, карбенив і карбоїдів з одночасним зменшенням в них вмісту олів та асфальтенів. Тобто, в таких сумішах має місце перехід олів у смоли, а асфальтенів – у карбени та карбоїди.

### Бібліографічний список

1. McNally T. (Ed.): Polymer Modified Bitumen. Properties and Characterization. Woodhead Publ., 2011.
2. Fang C., Li T., Zhang Z., Jing D.: Polym. Composite, 2008, 29, 500. <https://doi.org/10.1002/pc.20390>
3. Bratyshak M., Ripak O., Namiesnik J. et al.: Chem. Chem. Technol., 2018, 12, 93. <https://doi.org/10.23939/chcht12.01.093>

### **Bitumen-polymer blends with participation of coumarone-indene resins with epoxy groups based on light fraction of coal tar**

M.M. Bratyshak, Doctor of Chemical Sciences, O.I. Zubal, Student, M.Ye. Shved, PhD in technical sciences, Yu.V. Prysiazhnyi, PhD in technical sciences, O.T. Astakhova (Lviv Polytechnic National University)

*Using light fraction of coal tar (5,75 wt % of coumarone and 44,45 wt % of indene), glycidylmethacrylate and styrene, the coumarone-indene resin with epoxy groups (CIRE) has been synthesized. Monoperoxyde rivative of diglycidylether Bisphenol A (PO) was used as an initiator. The synthesized product has been investigated as a polymeradditiveto bitumen-polymer blends (BPB). The effect of CIRE amount, temperature and time on the BPB operational characteristics has been examined. By means of IR-spectroscopy the structures of CIRE, bitumen and BPB were determined.*

**Keywords:** coumarone-indene resin, model systems, epoxy groups, bitumen-polymer blend, IR-spectroscopy.

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ  
ІНДЕН-КУМАРОНОВОЇ СМОЛИ З МЕТАКРИЛАТНИМИ  
ФРАГМЕНТАМИ В ЯКОСТІ ПОЛІМЕРНОГО ДОДАТКА  
ДЛЯ НАФТОВИХ ДОРОЖНІХ БІТУМІВ**

**М.М. Братичак, М.Є. Швед, О.Т. Астахова, А.Ю. Колісник**

***Національний університет «Львівська політехніка»***

*Вивчено вплив кількості інден-кумаронової смоли з метакрилатними фрагментами на основні характеристики бітумів, модифікованих полімерами. Встановлено, що внесення бітумної суміші 3 % ІКСМ практично не впливає на температуру розм'якшення, penetрацію та розтяжність, але дає можливість втричі покращити адгезію до скла. Встановлено, що дану смолу можна використовувати, як адегійну добавку до нафтових дорожніх бітумів.*

**Ключові слова:** *інден-кумаронові смоли, метакрилатні фрагменти, бітуми, модифіковані полімерами, адгезія.*

При застосуванні дорожніх бітумів виникає ряд проблем, проте найбільш гострою є недостатньо високі твердість та адгезійні властивості товарних бітумів. Одним з найперспективніших напрямків в підвищенні якості в'язучих для одержання дорожніх покриттів з хорошими експлуатаційними характеристиками є їх модифікування полімерними матеріалами. Однак, використання модифікаторів обмежується внаслідок значної їх вартості. Тому важливим є пошук недорогих речовин, які б покращували експлуатаційні характеристики бітумів, – першочергово, адгезійні. На кафедрі хімічної технології переробки нафти і газу Національного університету «Львівська політехніка» проводяться дослідження по покращенню адгезійних властивостей дорожніх нафтових бітумів, шляхом їхнього модифікування інден-кумароновою смолою (ІКС), що отримується з використанням легкої фракції кам'яно-вугільної смоли. Для одержання максимального позитивного результату в структуру ІКС вводять функційні групи, що підвищує адгезійні властивості виробів, в склад яких вони входять.

Дана робота присвячена дослідженню можливості використання інден-кумаронової смоли з метакрилатними фрагментами (ІКСМ), як адгезійної добавки нафтових дорожніх бітумів.

Вихідною сировиною для одержання ІКСМ слугувала легка фракція кам'яновугільної смоли (ЛФКВС) відібрана на ПАТ «Запоріжжкокс» (Україна). В результаті радикальної коолігомеризації в металічних ампулах сировини з додаванням мономерів (метилметакрилу) в присутності як ініціатор 2'-азабіс (2-метил-пропіонітрил) за температури 80 °С та тривалості 6 год. отримана ІКСМ з наступними характеристиками: вихід 57,6 г (26,4 %); температура розм'якшення 88 °С; молекулярна маса 830 г/моль. Для створення бітум-полімерних сумішей з використанням, в якості полімерного додатка ІКСМ, був використаний нафтовий дорожній бітум БНД 60/90, який мав характеристику: температура розм'якшення 46 °С, penetрація  $62 \cdot 10^{-4}$  м, розтяжність  $75 \cdot 10^{-2}$  м,

адгезія до скла 33 %. БМП одержували шляхом перемішування суміші протягом однієї години за температури 190 °С. Результати досліджень по впливу кількості полімерної складової на характеристику БМП наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Показник	Характеристика БМП				Вимоги до БМПА 60/90-53 згідно ДСТУ Б В.2.7-135:2014.
	Кількість модифікатора в суміші, % мас.				
	1,0	3,0	5,0	7,0	
Глибина проникнення голки (пенетрація) за температури 25 °С, $m \cdot 10^{-4}$ (0,1 мм)	67	65	60	55	$\geq 61-90$
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С	46	47	47	48	$\geq 326$
Розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С, $m \cdot 10^{-2}$ (см)	70	69	67	65	$\geq 15$
Зчеплення зі склом, %	52	92	72	56	$\geq 20$

З табл. 1 можна зробити висновок, що найкращі результати, які стосуються адгезії, досягаються при кількості ІКСМ в БПМ 3 % мас. За цих умов утворена суміш за температурою розм'якшення, пенетрацією та розтяжністю практично співпадає із характеристикою бітуму, який не містить полімерної складової, проте практично втричі підвищується адгезія. З отриманих результатів можна зробити висновок, що одержану смолу можна використовувати, як адгезійну добавку до нафтових дорожніх бітумів.

### **Study of the possibility of using indene-coumarone resin with methacrylate fragments as polymer applications for petroleum road bitumen**

M.M. Bratychak, Doctor of Chemical Sciences, M.Ye. Shved, PhD in technical sciences, O.T. Astakhova, A.Yu. Kolisnyk, Student, (Lviv Polytechnic National University)

*The effect of indene-coumarone resin with methacrylic fragments amount on the main characteristics of bitumen modified by polymers has been studied. It was found that the addition of 3 % indene-coumarone resin to the bitumen mixtures does not substantially affect the softening temperature, penetration and ductility, but doubles the adhesion to glass. It was found that this resin can be used as adhesion additive.*

**Keywords:** *indene-coumarone resin, methacrylate fragments, bitumen modified by polymers, adhesion.*

## ОДЕРЖАННЯ ІНДЕН-КУМАРОНОВОЇ СМОЛИ З КАРБОКСИЛЬНИМИ ГРУПАМИ З ЛЕГКОЇ ФРАКЦІЇ КАМ'ЯНОВУГІЛЬНОЇ СМОЛИ

М.М. Братичак, М.Є. Швед, О.Т. Астахова, А.Ю. Колісник

*Національний університет «Львівська політехніка»*

*Коолігомеризацією ненасичених сполук, що містяться в легкій фракції кам'яновугільної смоли з додаванням промислового мономера (метакрилова кислота) одержано інден-кумаронову смолу з карбоксильними групами. Як ініціатор реакції використано 2,2'-азо-біс-(2-метилпропіонітрил). Структура синтезованої ІКС підтверджена ІЧ-спектроскопічними дослідженнями.*

**Ключові слова:** легка фракція кам'яновугільної смоли, інден-кумаронова смола, ІЧ-спектроскопія.

Одним з напрямів раціонального використання легкої фракції кам'яновугільної смоли (ЛФКС) є одержання на її основі інден-кумаронових смол (ІКС) [1]. На кафедрі ХТНГ НУ «ЛП» впродовж останніх років ведуться роботи із одержання ІКС та застосування їх як полімерних компонентів при створенні бітум-полімерних сумішей [2, 3]. Перспективними виглядають дослідження із розроблення нових способів одержання ІКС та введення в їх структуру різноманітних функційних груп.

В даній роботі вивчена можливість одержання на основі легкої фракції кам'яновугільної смоли інден-кумаронових смол з карбоксильними групами (ІКСК).

Сировиною для одержання ІКСК слугувала легка фракція кам'яновугільної смоли (ЛФКВС) відібрана на ПАТ «Запоріжжкокс» (Україна). В складі якої містилось 6,73 % мас. стиролу, 5,75 % мас. кумарину та 44,45 % мас. індену.

З метою збільшення виходу кінцевих продуктів додатково у полімеризаційну масу вводили стирол та метакрилову кислоту (МАК). Ініціатором реакції слугував 2,2'-азо-біс-(2-метилпропіонітрил) (ДАК). В результаті ініційованої коолігомеризації ЛФКВС отримана ІКСК, що характеризувалася молекулярною масою 1300 г/моль та виходом 22,4 % мас. на вихідну суміш. Для підтвердження присутності у одержаній смолі вільних карбоксильних груп проведено ІЧ-спектроскопічні дослідження (рис. 1).

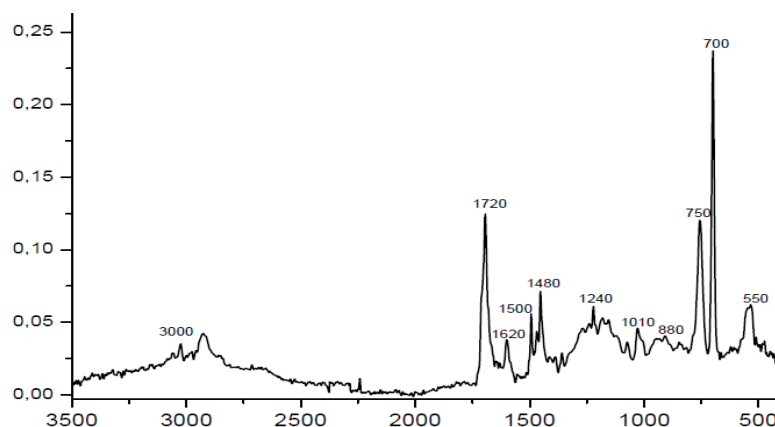


Рис. 1 – ІЧ-спектр ІКСК

Присутність в молекулах синтезованої інден-кумаронової смоли з вільними карбоксильними групами підтверджено наявністю в спектрах інтенсивної смуги поглинання при  $1720\text{ см}^{-1}$ , яка відноситься до валентних коливань карбонільної групи в кислотах.

### Бібліографічний список

1. Веселовский В.С. Химическая природа горючих ископаемых / В.С. Веселовский. – М.: Издательство АН СССР. 1955. – 424 с.
2. Pyshyev S., Gunka V., Grytsenko Y., Bratyshak M. Polymer modified bitumen: review / S. Pyshyev, V. Gunka, Y. Grytsenko, M. Bratyshak // Chemistry & Chemical Technology. – 2016. – Vol. 10, № 4(s). – С. 631–636.
3. Pysh'yev S., Grytsenko Y., Danyliv N., Bilushchak H., Pysh'yeva R. Production of indene-coumarone resins as bitumen modif // Petroleum & Coal. – 2016. – Том 57 № 4. – С. 303–314.

### Obtaining of coumarone-indene resins with carboxy groups based on light fraction of coal tar

M.M. Bratyshak, Doctor of Chemical Sciences, M.Ye. Shved, PhD in technical sciences, O.T. Astakhova, A.Yu. Kolisnyk, Student,  
(Lviv Polytechnic National University)

*Coumarone-indene resins (CIR) with carboxy groups were synthesized via cooligomerization of unsaturated compounds presented in light fraction of coal tar with the addition of such industrial monomers (methacrylic acid). 2,2'-Azobis(2-methylpropionitrile) was used as an initiator. The structure of the synthesized CIR was confirmed by IR-spectroscopy.*

**Keywords:** light fraction of coal tar, coumarone-indene resin, IR-spectroscopy.

## ПОШУК НОВОГО СПОСОБУ УТИЛІЗАЦІЇ КОКСОХІМІЧНИХ ВІДХОДІВ

Д.Ю. Білець

*Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»*

*Проведено аналіз причин утворення побічних продуктів та відходів коксохімічного виробництва. Наведена характеристика існуючих методів їх переробки та утилізації. Пропонується новий спосіб переробки коксохімічних відходів з отриманням генераторного газу.*

**Ключові слова:** коксохімічні відходи, кам'яновугільні фуси, рослинні залишки, генераторний газ, бенз(а)пірен.

Загальновідомо, що великі промислові виробництва є причиною багатьох серйозних екологічних проблем (забруднення атмосфери токсичними викидами, утворення та накопичення відходів виробництва, техногенне забруднення земель, забруднення підземних та наземних вод), які суттєво негативно впливають на стан довколишнього середовища. До таких, на жаль, належить коксохімічна галузь.

Процес отримання коксу для задоволення енергетичних потреб складається з десятків технологічних заходів в результаті яких, на жаль, утворюється велика кількість відходів і побічних продуктів [1 – 3]. Задля запобігання накопичення такої сировини та охорони довколишнього середовища серед розроблених способів їх утилізації найбільш розповсюджені:

- повернення до технологічного циклу (в шихту);
- отримання котельних та пічних палив;
- виготовлення паливних брикетів;
- використання як зв'язуючого дорожнього покриття.

На жаль ці методи мають недоліки та пов'язані із труднощами [3], оскільки більша частина побічних продуктів та відходів коксохімічного виробництва являють собою суміш поліароматичних вуглеводнів (ПАВ) і при нагріванні з них утворюються різні токсичні та канцерогенні сполуки, такі як, наприклад, флуорантен, бенз(а)пірен та ін.

Багаточисленними дослідженнями доведено, що для запобігання утворенню бенз(а)пірена та інших подібних сполук температура має бути не нижче 1600 – 1800 °С. На кафедрі «Технології переробки нафти газу та твердого палива» НТУ «ХПІ» ведуться роботи з переробки коксохімічних відходів, наприкладі таких як кам'яновугільні фуси [4], разом з рослинними залишками, та отриманням генераторного газу при високотемпературній обробці [5].

### Бібліографічний список

1. Борисенко А.Л. Отходы и побочные продукты коксохимического производства. Классификация, нормирование и направления

квалифицированного использования / А.Л. Борисенко, М.И. Близнюкова, Н.М. Голик // Углекимический журнал. – 2017. – № 6. – С. 38 – 48.

2. Борисенко А.Л. Регулирование выбросов загрязняющих веществ и обращение с отходами на коксохимических заводах Украины / А.Л. Борисенко, А.С. Малыш [и др.] // Углекимический журнал. – 2015. – № 3 – 4. – С. 43 – 51.

3. Тивари Х.П. Получение побочных продуктов коксования. Обзор / Х.П. Тивари, Р. Шарма [и др.] // Кокс и химия. – 2014. – № 12. – С. 29 – 37.

4. Герман К.Е. Проблемы производства котельного топлива из коксохимического сырья / К.Е. Герман, А.Л. Борисенко // Углекимический журнал. – 2014. – № 5 – 6. – С. 48 – 54.

5. Якушева Е.А. Об образовании и качестве фусов каменноугольной смолы / Е.А. Якушева, Ю.В. Степанов // Кокс и химия. – 2013. – № 4. – С. 49 – 53.

6. D.Yu. Bilets. Utilizing Viscous Organic Coke-Plant Wastes / D.Yu. Bilets, P.V. Karnozhitskiy, P.P. Karnozhitskiy // Coke and Chemistry, April 2018, Volume 61, Issue 4, pp 147 – 151.

### **A search for a new way of utilization of coke-chemical waste**

Bilets D.Yu.

*The analysis of the causes of the formation of by-products and waste of coke-chemical production is carried out. The characteristics of existing methods of their processing and utilization are given. A new way of treating coke-chemical waste with the production of generator gas is offered.*

**Keywords:** coke ovens, coal fuels, plant residues, producer gas, benz(a)pyrene.

## ОТРИМАННЯ ГАЗОНАПОВНЕНИХ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО КАМ'ЯНОВУГІЛЬНОГО ПЕКУ

І.І. Данило, І.Г. Крутько

*ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»*

*Визначено вплив складу та умов на процес спінювання кам'яновугільного пеку. Встановлено, що підвищення тиску при спінюванні модифікованого кам'яновугільного пеку дозволяє отримати тверді піни з більш однорідним розподілом пор та дрібнокомірковою структурою.*

**Ключові слова:** *пек модифікований, полівінілхлорид, комплексний газоутворювач, спінювання, критерій спінювання.*

Вуглецеві піни – одні з найпоширеніших матеріалів сучасності. Їх виробництво є складним процесом, в якому використовується дорога сировина і високі температури, що визначає їх високу вартість. На підставі високого попиту на ці матеріали в самих різних областях, синтез більш дешевих вуглецевих твердих пінів з прогнозованими характеристиками є дуже актуальним на сучасному етапі. Отримання вуглецевих пінів на основі кам'яновугільного пеку є перспективним напрямом завдяки його хімічній та біологічній стійкості, низької теплопровідності та значно дешевшої вартості за сучасні полімерні матеріали. Однак без попередньої обробки пек не може використовуватися для отримання вуглецевих пінів, так як його пластичні властивості зазвичай не відповідають вимогам піноутворення [1].

Кам'яновугільний пек, модифікований при температурі 170 °С полівінілхлоридом та поліметилметакрилатом, спінювали під дією комплексного хімічного газоутворювача (КГУ:азодикарбонамід:стеарат цинку = 1 : 0,25 мас.ч.) [2]. Температура спінювання складала 150 °С, тиск варіювався в діапазоні  $1,01 - 2,65 \cdot 10^5$  Па.



Рис. 1. – Фотографії вуглецевих пінів за умов спінювання:  
а) – під атмосферним тиском; б) – під підвищеним тиском

Результати виконаних досліджень показали можливість отримання газонаповненого матеріалу при спінюванні модифікованого кам'яновугільного пеку під атмосферним тиском. Кратність спінювання твердих пінів даних умовах залежить від кількості ПВХ і дорівнює  $K_{сп} = 1,3 - 2,5$ . Однак отримані при атмосферному тиску піни відрізняються високою крихкістю. Дослідження

кінетики спінювання МКП під підвищеним тиском показало, що отримані тверді піни характеризуються підвищеною міцністю, однорідним розподілом пор та дрібнокомірковою структурою. Кратність спінювання пін, в залежності від складу композицій на основі МКП, дорівнює  $K_{сп} = 1,6 - 2,6$ .

### Бібліографічний список

1. Крутько И.Г. О возможности получения твердых пен на основе модифицированного каменноугольного пека / И.Г. Крутько, В.О. Колбаса // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Хімія і хімічна технологія. – 2013. – № 2(21). – С. 156 – 161.

2. I. Krutko. Kinetics of Azodicarbonamide Decomposition in the Presence of an Initiator for Obtaining Solid Foams / I. Krutko, I. Danylo, V. Kaulin // Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii. – 2019. – № 1. – P. 26 – 34.

### Obtaining of the Filled-gas Carbon Materials Based on Coal Tar Pitch

I. Danylo, junior researcher, I. Krutko, PhD in technical sciences  
(SHEE “DonNTU”)

*The influence of the composition and conditions on the foaming process of coal tar pitch has been determined. Increasing the pressure during foaming of the modified coal tar pitch allows to obtain solid foams with a more uniform pore distribution and fine-cellular structure.*

**Keywords:** *modified coal tar pitch, polyvinylchloride, complex blowing agent, foaming, foam coefficient.*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ФАКТИЧНОЇ МАСИ ВУГІЛЬНОЇ СИРОВИНИ ПРИ ЇЇ РОЗМОРОЖУВАННІ

І.Д. Дроздник<sup>1</sup>, Д.В. Мірошніченко<sup>2</sup>, К.О. Шмельцер<sup>3</sup>, М.В. Кормер<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ДП «Український державний науково-дослідний вуглехімічний  
інститут (УХІН)»

<sup>2</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний  
інститут»

<sup>3</sup>Криворізький металургійний інститут Національної металургійної  
академії України

*Авторами виконані дослідження впливу різних чинників (температура навколишнього середовища, вихідна вологість вугільних концентратів і їх гранулометричний склад, тривалість перебування вугілля в гаражі розморожування) на зміну фактичної маси вугільних концентратів в ході їх розморожування, які є актуальними для зниження витрат на розігрів вугілля, яке змерзло, та дозволять оптимізувати роботу вугленідоготовчих цехів.*

***Ключові слова:** вугілля, максимальна вологоємність, змерзання, гараж розморожування, втрата маси.*

Змерзання частинок починається при вмісті в них води, що перевищує значення максимальної вологоємності. У свою чергу, величина максимальної вологоємності залежить від ступеня метаморфізму і в діапазоні коксівного вугілля має максимальні значення у малометаморфізованого вугілля газової групи. З урахуванням того, що максимальними значеннями вологоємності характеризується малометаморфізоване вугілля газової групи, дане вугілля може перебувати менший час в гаражі розморожування в порівнянні з іншим коксівним вугіллям. Зі зниженням температури ступінь змерзання вугілля збільшується з підвищенням його вологості і зниженням крупності частинок. Методами математичної статистики було отримано рівняння, що описує зміну маси вугілля при його розморожуванні в залежності від вмісту в ньому води, середнього діаметра його частинок і часу перебування в гаражі розморожування.

$$\Delta m = 1,161723 - 0,00033\tau - 0,007677W_{\text{г}} - 0,01529d_{\text{ср}} \quad (1)$$

Рівняння (1) дозволяє оцінити зниження маси вугілля в процесі розморожування в залежності від показників його якості та умов перебування в гаражі розморожування. В цілому, можна відзначити, що збільшення вихідної вологості, середнього діаметра вугільних частинок і часу перебування в гаражі розморожування призводить до зростання втрати фактичної маси вугільних концентратів при їх розморожуванні.

На рис. 1 приведена графічна залежність розрахункових (за рівнянням 1) і фактичних значень втрати маси вугілля в процесі його розморожування.

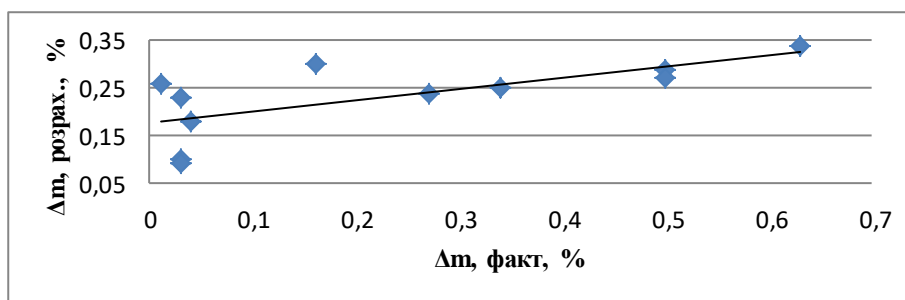


Рис. 1 – Графічна залежність розрахункових і фактичних значень втрати маси вугілля в процесі його розморожування

### **Investigation of the actual mass variation of coalraw materials of its defrosting**

I.D. Drozdник (USCCI), D.V. Miroshnichenko, Doctor of technical sciences (NTU “HPI”), E.O. Shmeltser, PhD of technical sciences, M.V. Korner, PhD of chemistry sciences (KMI of NMetAU)

*The authors carried out research on the influence of various factors (ambient temperature, output humidity of coal concentrates and their granulometric composition, duration of stay of coal in the garage defrosting) to change the actual mass of coal concentrates during their defrost, which are relevant for reducing the cost of heating the coals that froze, and will allow to optimize the work of coal preparation plants of coke production plants.*

**Keywords:** coal, maximum water holding capacity, freezing, garage defrosting, weight loss.

**ПОЛУЧЕНИЕ ГРАФЕНОВЫХ СТРУКТУР ИЗ КОКСОВОЙ ПЫЛИ****О.И. Зеленский<sup>1</sup>, В.М. Шмалько<sup>1</sup>, Р.И. Костенко<sup>2</sup>****<sup>1</sup>ГП «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт (УХИИ)»****<sup>2</sup>Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»**

*Приведены результаты исследований по получению графеновых структур из коксовой пыли. Показано, что коксовая пыль и отсеvy мелких классов коксовой мелочи являются перспективным сырьем для получения графена.*

**Ключевые слова:** графен, коксовая пыль, кислота, суспензия.

В работах [1 – 2] показана возможность получения графена (углеродные квантовые точки) из угля и кокса. Суть метода заключается в окислении углеродных графитоподобных слоев угля или кокса в смеси неорганических кислот ( $H_2SO_4$  и  $HNO_3$ ) в соотношении 3:1, с последующим ультразвуковым разрушением этих слоев на отдельные молекулы – графен.

Исследования проводили на пыли УСТК.

Навеску коксовой пыли массой 1 грамм помещали в смесь кислот  $H_2SO_4$  и  $HNO_3$  в соотношении 3:1 (60 мл + 20 мл) и кипятили в экстракторе Грефе в течение 6 часов. После остывания раствор подвергался нейтрализации до  $pH = 7$  с помощью  $NaOH$ . Полученную суспензию разбавляли дистиллированной водой и исследовали на просвечивающем электронном микроскопе (исследования проводили в ХНУ им. В.Н. Каразина).

На рис. 1 приведены изображения полученных структур.

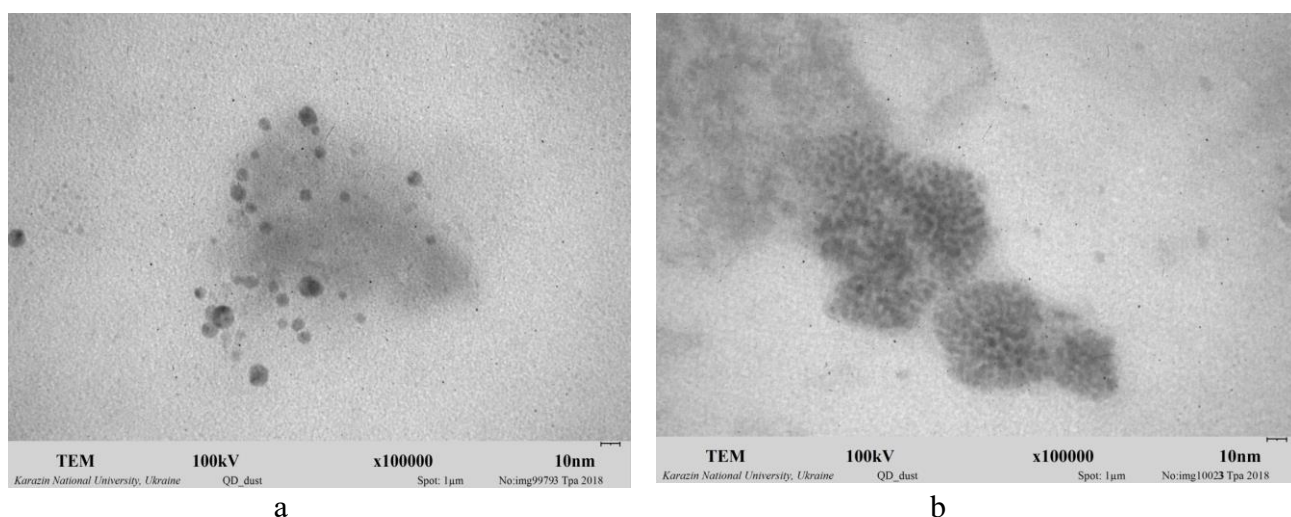


Рис. 1 – Полученные графеновые структуры из пыли УСТК при различном увеличении, просвечивающая электронная микроскопия

Таким образом, коксовая пыль УСТК и отсев мелких классов коксовой мелочи ( $\leq 0,5$  мм) являются перспективным сырьем для получения новой углеродной продукции – графеновых структур.

### Бібліографічний список

1. Ruquan Ye. Coal as an abundant source of graphene quantum dots / Ye Ruguan, Xiang Changsheng, Lin Jian [et al.] // Nature Communications. – 2013. – DOI: 10.1038/ncomms3943.

2. Zhou Q. Graphene Sheets from Graphitized Anthracite Coal: Preparation, decoration and application / Q. Zhou, Z. Zhao, Y. Zhang [et al.] // Energy Fuels. – 2012. – 26. – P. 5186–5192.

### Production of graphene structures from coke dust

O.I. Zelenskii, PhD in technical sciences, V.M. Shmalko, PhD in technical sciences, R.I. Kostenko

*The results of studies on the production of graphene structures from coke dust are given. It is shown that coke dust and screenings of small classes of coke breeze are a promising raw material for the production of graphene.*

**Keywords:** *graphene, coke dust, acid, suspension.*

## ПІДГОТОВКА ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ ДО КОКСУВАННЯ МЕТОДОМ ПІДПРЕСУВАННЯ

І.Б. Ковальова, В.Ю. Тищук, А.С. Яготін

*Криворізький металургійний інститут Національної металургійної академії України (КМІ НМетАУ)*

*Встановлено, що в зв'язку зі зменшенням запасів найбільш якісного коксівного вугілля марок К і Ж виникла необхідність введення до промислових шихт слабоспікливого вугілля, що не приведе до зниження фізико-хімічних показників якості коксу, який буде з неї отримано. Результати досліджень показали, що підпресування вугілля дозволяє підвищити насипну щільність вугільної шихти з  $655 \text{ кг/м}^3$  до  $739 \text{ кг/м}^3$ , підвищити показники механічної міцності  $M_{25}$  з  $86,0 \%$  до  $90,2 \%$ , збільшити вихід валового коксу з  $77,43 \%$  до  $78,4 \%$ .*

**Ключові слова:** *вугілля, підпресування, вугільна шихта, насипна щільність, якість коксу.*

Стан сировинної бази коксування коксохімічних підприємств України є визначальним для шляхів і темпів розвитку чорної металургії країни. На сьогодні існує тенденція до зменшення запасів найбільш якісного коксівного вугілля марок К і Ж. В результаті виникає необхідність введення до промислових шихт слабоспікливого вугілля, тобто модифікації шихти менш якісним вугіллям без зниження фізико-хімічних показників якості коксу, що буде з неї отриманий та розширює сировинну базу коксування за рахунок використання в коксових шихтах недефіцитних марок кам'яного вугілля [1].

В лабораторних умовах Криворізького металургійного інституту були проведені дослідження з метою визначення якості шихти, що включає  $55 - 65 \%$  слабоспікливого вугілля, з подальшим її підпресуванням. При цьому при підпресуванні не використовувалися зв'язуючі речовини.

Процес підпресування здійснювався на спеціально розробленій установці підпресувальника. Підпресування вугільної шихти проводилося способом поперечного підпресування, яке здійснюється за рахунок зменшення висоти шару, що подається стрічковим конвеєром, при взаємодії розвантажувального барабана конвеєра з підпресовуючим валком [2].

Ефективність методу підпресування значною мірою обумовлена підвищенням щільності вугільного завантаження в пічних камерах, яке, не міняючи природи органічної маси вугілля, істотно покращує фізико-хімічні умови протікання процесів спікання і коксоутворення. Підвищення насипної щільності вугільної шихти забезпечується за рахунок досягнення оптимального значення коефіцієнта підпресування.

Результати дослідження в залежності від коефіцієнта підпресування ( $K_{\text{пп}}$ ), який варіювався в межах  $8,8$  до  $18,8$ , були наступні:

- підвищення насипної щільності вугільної шихти з  $655 \text{ кг/м}^3$  до  $739 \text{ кг/м}^3$ ;
- підвищення показника механічної міцності  $M_{25}$  з  $86,0 \%$  до  $90,2 \%$  і

зменшення показника стирання  $M_{10}$  від 9,9 % до 7,8 %;

- підвищення виходу валового коксу з 77,43 % до 78,4 %.

Також ефективність методу підпресування у порівнянні з ефективністю ординарного методу підготовки шихти дозволяє отримати високоякісне паливо та залучити для коксування неспікливе вугілля.

### **Бібліографічний список**

1. Браун Н.В. Перспективные направления развития коксохимического производства / Н.В. Браун, И.М. Глущенко. – М.: Metallurgia, 1989. – 272 с.

2. Исследование и разработка технологии и технического задания на разработку комплекса для подготовки аглошихты к спеканию с целью повышения качества агломерата и уменьшения выбросов пыли, в которой содержится железо, в атмосферу: [отчёт о НИР (заключит.)] / Криворож. высшая металлургическая школа Национальной металлургической академии Украины; рук. А.Д. Учитель. – К., 2007. – 83 с.

### **Preparation of coal charge to coking by compression method**

V.Yu. Tischuk, Doctor of Technical Sciences, I.B. Kovalova, Senior Lecturer,  
A.S. Yagotin, student (KMI NMetAU)

*It has been established, that due to a decrease in the stocks of the most high-quality coking coals, it became necessary to introduce low-caking coals into industrial mixtures, which will not lead to a decrease in the physicochemical indicators of the quality of coke. The research results showed that prepressing of coal allows to increase the bulk density of coal charge from 655 kg/m<sup>3</sup> to 739 kg/m<sup>3</sup>, to increase the mechanical strength  $M_{25}$  from 86,0 % to 90,2 %, to increase the output of gross coke from 77,43 % to 78,4 %.*

**Keywords:** coal, prepressing, coal charge, bulk density, coke quality.

## ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ЗА ДОПОМОГОЮ ГУМАТІВ ВІД ІОНІВ ТЯЖКИХ МЕТАЛІВ

А.О. Кузьмініх<sup>1</sup>, П.В. Карножицкий<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Харківський науково-дослідний інститут судових експертиз  
ім. Засл. проф. М.С. Бокаріуса*

<sup>2</sup>*Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут»*

*Визначено ефективність використання гуматів, отриманих з торфів Волинської області та з бурого вугілля Олександрійського родовища. Досліджувалася можливість очищення води від іонів двовалентної міді, яка знаходиться у воді. Доведено, що в результаті взаємодії гуматів з іонами міді, і з подальшою фільтрацією, ступінь очищення досягла 96 – 99 %.*

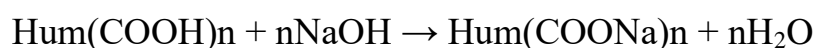
***Ключові слова:** торф, буре вугілля, гумінові кислоти, гумати, важкі метали.*

Забруднення природних водоймищ важкими металами і радіонуклідами на протязі багатьох років призвело до погіршення екологічної ситуації. Розробка родовищ, які містять металеві руди, атомна енергетика, гальванічні процеси та інші, призводять до потрапляння у воду іонів важких металів. Наявність цих забруднювачів становить небезпеку, як для навколишнього середовища, так і безпосередньо для людини. Це зумовлює потрібність очищення водоймищ від важких металів, як правило, до низьких концентрацій, що являється складним та дорогим [1, 2].

Маючи пористу структуру та високу реакційну властивість, можна вирішити цю проблему. Дослідження торфу як сорбенту для очищення води, доцільно також через дуже низьку вартість останнього та його великих запасів. Торф має високу сорбційну активність завдяки наявності функціональних груп гумінових речовин, по відношенню до іонів важких металів, таких як  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  та ін. Активним компонентом торфу є гумінові речовини, вміст яких в торфі досягає 40 – 50 % в перерахунку на органічну масу. Це полідисперсні високомолекулярні речовини, поліфункціональні та поліелектролітні. Наявність в їх структурі карбоксильних, фенольних, карбонільних та аміногруп дає можливість протікання реакцій іонного обміну та утворювання стійких комплексів з іонами важких металів за рахунок кетонних груп, а також за рахунок Ван-дер-Ваальсових сил [3 – 6].

На рис. 1 наведена структура гумінових речовин.

Роботами ряду авторів показано, що ефективність процесу виділення металів з води можна значно підвищити в разі використання водних розчинів гумінових кислот або їх солей (гуматів) [7, 8]. Гумати – це речовини, які отримують внаслідок впливу на торф та буре вугілля слабким водним розчином лугу.



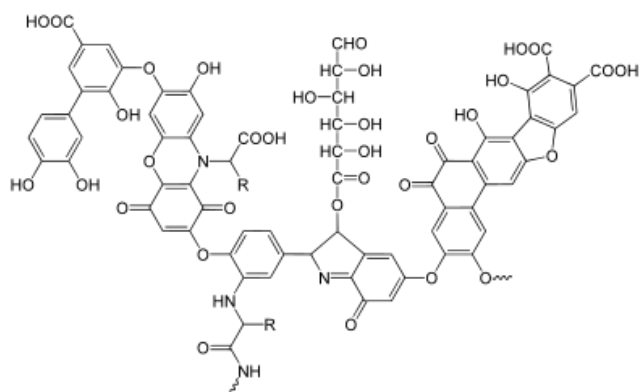
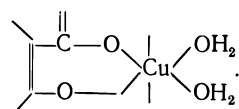


Рис.1 – Структура гумінових кислот

Взаємодія іонів металів з гуматами йде з утворенням подвійних зв'язків кислотно-донорними групами гумінових кислот, та з утворенням солей [4, 7]:



Утворені комплекси, за рахунок великих розмірів молекул гуматів від 1000 до 1400 молекулярної маси, можна виділяти за допомогою ультрафільтраційних мембран, що концентруються над їх поверхнею та практично весь метал пов'язаний в комплексі, залишається у розчині [10].

На рис. 2 наведена графічна залежність між продуктивністю мембран ПА-10 та ПАН-20 по відношенню до концентрацій розчинів Г:Cu<sup>2+</sup>

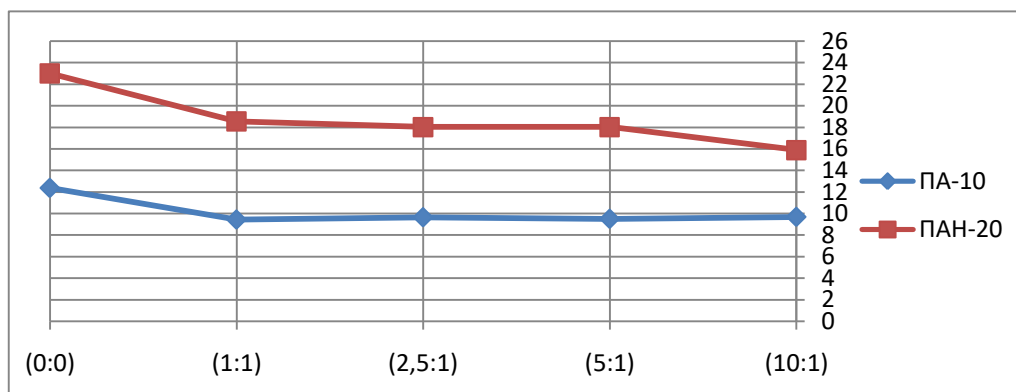


Рис. 2 – Продуктивність мембран ПА-10 та ПАН-20 по відношенню до концентрацій розчинів Г:Cu<sup>2+</sup>

Дана робота присвячена вивченню ефективності використання гуматів, отриманих з торфів Волинської області та з бурого вугілля Олександрійського родовища. В якості фільтруючого матеріалу використовувалися полімерні мембрани ПА-10 і ПАН-20. Досліджувалася можливість очищення води від

іонів двовалентної міді, яка знаходиться у воді в концентраціях від 10 до 100 мг/л; при цьому гумати, виділені з торфу і бурого вугілля, додавалися у воду в співвідношенні від 1:1 до 1:10. Доведено, що в результаті взаємодії гуматів з іонами міді, і з подальшою фільтрацією, ступінь очищення досягла 96 – 99 %.

### Бібліографічний список

1. Рубанов Ю.К. Переработка шламов и сточных вод гальванических производств с извлечением ионов тяжелых металлов / Ю.К. Рубанов, Ю.Е. Токач, М.Н. Огнев // Современные наукоемкие технологии. – 2009. – № 3. – С. 82 – 83.
2. Хенце М. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. – М.: Издательство «Мир». – 2006. – С. 471.
3. Саранчук В.І. Основи хімії і фізики горючих копалин / В.І. Саранчук, М.О. Ільяшов, В.В. Ошовський, В.С. Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. – С. 640.
4. Орлов Д.С. Химия почв. – М.: издательство МГУ – 1992. – С. 400.
5. Лебедева Л.С. Исследование сорбционных свойств гуминовых кислот различного происхождения по отношению к некоторым катионам металлов / Л.С. Лебедева, Н.И. Чернышева // Успехи в химии и химической технологии. Том 22. – 2008. – № 3. – С. 113 – 116.
6. Иванов А.А. Кислотные и ионообменные свойства гуминовых кислот механоактивированных торфов / А.А. Иванов, Н.В. Юдина, А.А. Ильина // Химия растительного сырья. – 2010. – № 4. – С. 145 – 150.
7. Лиштван И.И. Взаимодействие гуминовых кислот с ионами металлов в водной среде / И.И. Лиштван, Ю.Г. Янута, А.М. Абрамец, Г.С. Монич, Н.С. Глухова, В.Н. Алейникова // Химии и технология воды. Том 34. – 2012. – № 5. – С. 359 – 369.
8. Стельмашук В. Поведінка гумусових речовин у водних розчинах і на поверхнях розділу фаз / В. Стельмашук, Л.А. Савчина, Н.Г. Антонюк // Наукові записки. Том 21. Хімічні науки та технології – 2003. – С. 21 – 27.
9. Лиштван И.И. Физика и химия торфа / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, Н.И. Гамаюнов, А.А. Терентьев. – М.: Недра. – 1989. – С. 304.
10. Дытнерский Ю.І. Барометрические процессы / Химия. – 1986. – С. 272.

### Use of humates to clean water from heavy metal ions

A.O. Kuzminych, PhD student, P.V. Karnozhytskyi, PhD in technical sciences

*The efficiency of the use of humates obtained from peat from the Volyn region and from brown coal of Oleksandriy deposit is determined. The possibility of water purification from ion of divalent copper, which is found in water, was investigated. It is proved that as a result of the interaction of humates with copper ions, and with subsequent filtration, the degree of purification reached 96 – 99 %.*

**Keywords:** peat, brown coal, humic acids, humates, heavy metals.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ФРАКЦІЙ СЛАБКСПІКЛИВОГО ВУГІЛЛЯ МАРКИ ДГ РІЗНОЇ ГУСТИНИ

Т.О. Кушнар'ова, Є.Л. Сорокін

*Національна металургійна академія України (НМетАУ)*

*В роботі проведено аналіз показників спікання та спікливої здатності густиних фракцій слабкспікливого низькометаморфізованого вугілля марки ДГ, які було отримано в процесі розділення у важкому середовищі. В роботі проаналізовано зміну показників спікання та спікливої здатності при зміні густини фракцій які досліджуються, з чого можна заключити, що фракції густиною від 1,25 до 1,3 г/см<sup>3</sup> володіють досить добрими показниками спікання та спікливої здатності.*

**Ключові слова:** *вугілля, фракції, густина, кокс, спікання, спіклива здатність, високомолекулярні властивості, органічна маса, мінеральні речовини.*

Зниження видобутку добреспікливого коксівного вугілля та збільшення частини слабкспікливого вугілля в шихті для коксування призводить до погіршення якісних характеристик, тому необхідно знайти рішення, щодо використання слабкспікливого вугілля в процесі коксування.

Одним зі методів є виділення зі слабкспікливого вугілля частки, яка буде мати показники спікання та спікливої здатності і дасть змогу отримати кокс з якісними показниками, які потребує споживач.

Для досягнення мети, було проведено розділення слабкспікливого низькометаморфізованого вугілля марки ДГ на фракції (<1,25; 1,25 – 1,26; 1,26 – 1,27; 1,27 – 1,28; 1,28 – 1,3; >1,30 г/см<sup>3</sup>), дослідження показали, що результати технічного аналізу відрізняються у фракціях різних за густиною. Тому було припущено, що фракції відмінні за густиною будуть мати відмінні показники спікання та спікливої здатності.

Отримані дані дозволили визначити, що зі зміною густиних фракцій показники спікання та спікливої здатності змінюються, маючи лінійну та параболічну залежність.

Таким чином, легкі і важкі фракції не мають необхідних властивостей як компоненти добреспікливого вугілля. Легкі фракції з густиною менше 1,25 г/см<sup>3</sup> містять велику кількість низькомолекулярної органічної маси, що при термічному впливі утворює велику кількість рідких продуктів з низькою в'язкістю. До складу важких фракцій з густиною більше 1,30 г/см<sup>3</sup> входить велика кількість мінеральних речовин, що не дозволяє використовувати їх для коксування. Оптимальні результати спікливості і спікливої здатності мають вугільні фракції густиною від 1,25 до 1,30 г/см<sup>3</sup>. Отже, в шихті для коксування доцільно використовувати саме фракції густиною від 1,25 до 1,30 г/см<sup>3</sup> низькометаморфізованого слабкспікливого вугілля.

## **Technological properties of fractions of weakly-coagulated coal of grade DH of different density**

E.L. Sorokin, T.O. Kushnarova, (NMetAU)

*In this work, an analysis of the parameters of sintering and the bulk density of the low-grade low-metamorphosed coal fraction of the DM grade, which was obtained during the separation process in a heavy environment, was carried out. In the work, the change in the parameters of sintering and baking power in the change in the density of the fractions being investigated is analyzed, from which it can be concluded that fractions with a density of 1,25 to 1,3 g/cm<sup>3</sup> have good enough parameters of sintering and sintering ability.*

**Keywords:** coal, fraction, coke, sintering, sintering ability, high molecular weight properties, organic mass, minerals.

**ВПЛИВ ДОБАВОК ВУГІЛЛЯ НА ПРОПЛАСТИЧНІ  
ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОГЛИНОЗЕМИСТИХ ЛЬОТОЧНИХ МАС  
ДЛЯ ДОМЕННИХ ПЕЧЕЙ**

**С.М. Логвінков<sup>1</sup>, І.А. Остапенко<sup>2</sup>, В.М. Шумейко<sup>3</sup>,  
О.М. Борисенко<sup>1</sup>, І.К. Малік<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця*

<sup>2</sup>*ТОВ “Дружківський вогнетривкий завод”*

<sup>3</sup>*Національний технічний університет “Харківський політехнічний  
інститут”*

<sup>4</sup>*“GreenPower™”*

*Демонструються шляхи досягнення збалансованого співвідношення вуглецевмісна добавка/антиоксидант, у тому числі із застосуванням у складі коксівного вугілля, сприяючого збереженню піропластичного стану маси при підвищених температурах і що дозволяють розв’язати проблему преміксів і відмовитися від дорогих імпортованих смол різного типу. Показано переваги льоточних мас ТОВ “Дружківський вогнетривкий завод” в порівнянні з аналогічними масами інших фірм.*

**Ключові слова:** *доменні печі, льоточні маси, неформовані маси, вуглецевмісна добавка, антиоксидант, піропластичні властивості.*

Доменні печі відносяться до теплових агрегатів шахтного типу, працюючих у безперервному режимі. Завантаження залізородних матеріалів і коксу здійснюється згори, знизу через фурми подають гаряче повітря, а через льотки випускають рідкі продукти плавки – шлак і чавун. Домни є великими агрегатами (до 5000 м<sup>3</sup> корисного об’єму і до 12000 т чавуну в добу, тобто до 9 т чавуну в хвилину). Сучасні домни мають від 1 до 4 чавунних льоток, через які 6 – 8 раз на добу випускають накопичений в горні чавун, разом з яким сходять і частина шлаку.

Для зменшення доли шлаку зазвичай вище за рівень чавунних льоток (від 1,5 – 2,0 м) розташовують 1 – 2 шлакових льотки. Шлакові льотки часто закривають металевими пробками за допомогою стопорних пристроїв, а чавунні льотки закладають неформованими вогнетривкими масами, що подаються в льоточний отвір спеціальними машинними агрегатами – гарматами.

Розглядаються питання еволюції складів і технології неформованих мас від шамотно-глинистих композицій, застосування жидкостекольних зв’язуючих і мінеральних в’язучих, до безводних вуглецевмісних складів і сучасних видів льоточних мас на основі збалансованої по мірі спікливості комбінації вогнетривких наповнювачів із раціональним розподілом їх часток по розмірах на спеціальній синтетичній смолі із застосуванням органічних пластифікаторів, змочувачів графіту, антиоксиданту та інших модифікуючих добавок [1].

Аналізуються обмеження по допустимій токсичності усіх інгредієнтів льоточної маси; універсальність складів мас для закладення пушками різного

типу: електричним і гідравлічним, що вимагає особливих реологічних характеристик – пластичної течії в інтервалі робочих температур 60 – 90 °С і підвищеного діапазону затвердіння 350 – 450 °С, а також хорошу адгезію початкової маси до термообробленої, що вимагається для швидкого нарощування “обірваної” льотки. Демонструються шляхи досягнення збалансованого співвідношення вуглецевмісна добавка/антиоксидант, у тому числі із застосуванням у складі коксівного вугілля, сприяючого збереженню піропластичного стану маси при підвищених температурах [2] і що дозволяють розв’язати проблему преміксів і відмовитися від дорогих імпортованих смол [3] різного типу і композитів типу “Rauхолit”, “Феностіл-011”, “Ferroclay”. Показано переваги льоточних мас ТОВ “Дружківський вогнетривкий завод” порівняно з аналогічними масами фірм “Калдерис”, “Моравські вогнетривкі заводи”.

### Бібліографічний список

1. Логвинков С.М. Современные безводные огнеупорные массы для заделки чугунных леток доменных печей / С.М. Логвинков, О.Б. Скородумова, О.Н. Борисенко, И.А. Остапенко // Материалы 3-й МНПК “Современные материалы, техника и технология”. – 27 декабря 2013 г. – Курск: ЮЗГУ, 2013. – Т. 2. – С. 285 – 287.

2. Логвинков С.М. Термолиз фенолформальдегидных связующих корундографитовых огнеупоров / Тезисы докладов МНТК “Технология и применение огнеупоров и технической керамики в промышленности”. – 16 – 17 апреля 2013 г. – Харьков: Оригинал, 2013. – С. 9 – 10.

3. Нагинский М.З. Организация производства и эксплуатация желобных и леточных масс для доменных печей / М.З. Нагинский, Л.А. Карпец, Д.А. Добродан, И.В. Голенко, Т.Н. Кононова // Новые огнеупоры. – № 4. – 2002. – С. 60 – 66.

### **Influence of additions of coal on pyroplastic properties of the high-aluminous tap-hole refractory masses for blast furnaces**

S.M. Logvinkov, Doctor of Technical Sciences (KhNEU), I.M. Ostapenko, PhD in technical sciences (TOV “DVZ”), V.M. Shumeiko, PhD in technical sciences (NTU “KhPI”), O.M. Borisenko, PhD in technical sciences (KhNEU),  
I.K. Malik (“GreenPower™”)

*The ways of achievement of the balanced correlation carbon-containing addition/antioxidant ratio are presented, including with application in composition of coking coals, which assist to saving the pyroplastic state of mass at increasing temperatures and allow to decide the problem of resin-containing premixes, as well as give up the expensive imported resins of different types. The advantages of the flying masses of TOV “Dryzhkivskiy Vognetrivkiy Zavod” in comparison with the analogical masses of other firms are shown.*

**Keywords:** blast furnaces, tap-hole refractory masses, unformed masses, carbon-containing additions, antioxidant, pyroplastic properties.

## СПОСІБ ЕЛЕКТРООСМОТИЧНОГО ЗНЕВОДНЕННЯ ВУГІЛЛЯ ПЕРЕД КОКСУВАННЯМ

В.П. Лялюк, Д.О. Касім, К.О. Шмельцер, І.А. Ляхова,  
М.В. Кормер, Д.В. Сагалай

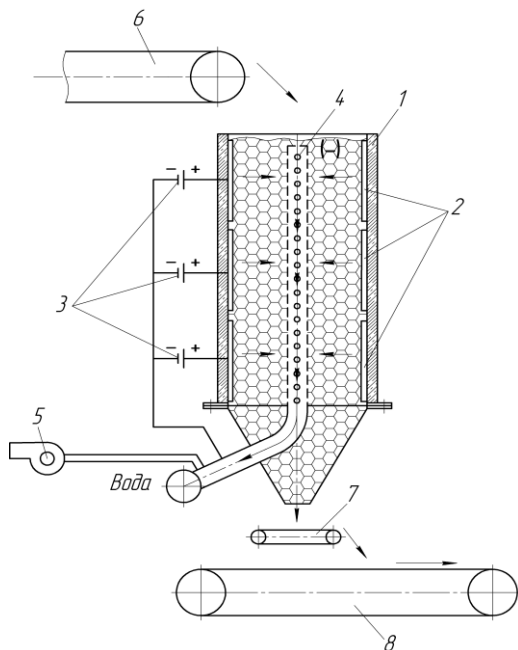
*Криворізький металургійний інститут Національної металургійної академії України*

Лабораторні дослідження показали, що запропонований спосіб підготовки вугільної шихти для коксування дозволяє знизити вологість вугілля від фактичної до оптимальної, що зумовить підвищення міцності коксу, знижуючи тим самим його витрату в доменній плавці і покращуючи техніко-економічні показники роботи доменних печей.

**Ключові слова:** вугільна шихта, насипна густина, стираність коксу, дробимість коксу, вологість шихти.

У зв'язку з тим, що зниження вологості вугільної сировини є важливим аспектом поліпшення фізико-механічних властивостей коксу, авторами запропоновано спосіб її зменшення безпосередньо в силосі за допомогою осмосу і вакууму.

Спосіб електроосмотичного зневоднення вугілля перед коксуванням, що включає джерело постійного струму, зв'язане з електродами, один з яких виготовлений у вигляді перфорованої труби, через яку відводиться вода, та підключений до від'ємного полюсу джерел струму, і електродів, підключених до позитивних полюсів джерел струму.



Силос закритого вугільного складу:

- 1 – стенки силосу,
- 2 – кільцеві пластини (електроди),
- 3 – джерела струму, 4 – перфорована труба,
- 5 – вакуумний насос, 6 – конвейер,
- 7 – дозатор, 8 – збірний конвейер

Запропонований спосіб дозволяє знизити вологість вугілля до оптимальної за технологічними умовами величини і поліпшити фізико-механічні характеристики

коксу за показниками дробимості ( $M_{25}$ ) та стираності ( $M_{10}$ ), поліпшити техніко-економічні показники роботи доменних печей. Так, встановлено, що в умовах доменних цехів АрселорМіттал Кривий Ріг при зниженні показника  $M_{10}$  на 1 % забезпечується зниження середнього питомої витрати коксу на 5,5 %, а з ростом показника  $M_{25}$  на 1 % середня питома витрата коксу знижувався в середньому на 2,1 %.

### **Method of electroosmotic dewatering of coal before coking**

V.P. Lyaluk, Doctor of technical sciences, D.O. Kassim, PhD of technical sciences, E.O. Shmeltser, PhD of technical sciences, I.A. Lyakhova, PhD of technical sciences, M.V. Kormer, PhD of chemistry sciences, D.V. Sagalay (KMI of NMetAU)

*Laboratory studies have shown that the proposed method of preparation of coal charge for coking can reduce the humidity of coal from the actual to optimal, which will increase the strength of coke, thereby reducing its consumption in blast furnaces and improving the technical and economic performance of blast furnaces.*

**Keywords:** *coal batch, packing density, coke strength, coke wear resistance, moisture content.*

**ТЕПЛОТА ЗГОРАННЯ ДОМЕННОГО КОКСУ. ФАКТОРИ ВПЛИВУ**

**Д.В. Мірошніченко<sup>1</sup>, І.В. Мірошніченко<sup>2</sup>, І.В. Шульга<sup>3</sup>,  
Я.С. Балаєва<sup>3</sup>, О.О. Терещенко<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут»*

*<sup>2</sup>Металургійний комбінат «Азовсталь»*

*<sup>3</sup>Державне підприємство «Український державний науково-дослідний  
вуглехімічний інститут (УХІН)»*

*Визначено, що виробництво чавуну в своєму розпорядженні має найбільший потенціал енергозбереження в чорній металургії, а процеси в доменних печах і в коксовому виробництві відрізняється найбільшими енергоємністю і споживанням вуглецю.*

***Ключові слова:** видобування чавуну, чорна металургія, доменні печі, кокс, доменний кокс, вугілля, теплота згорання.*

В роботі встановлено відсутність навіть факультативних вимог до величини теплоти згорання виробленого українськими та іноземними підприємствами доменного коксу[1 – 3].

Рішення щодо розрахунку теплоти згорання рідкого і твердого палива не дозволяють з достатньою точністю прогнозувати теплоту згорання доменного коксу.

Через нестачу наукових результатів в області впливу сировинних і технологічних факторів виробництва коксу на величину його теплоти згорання, в даний час відсутні технічно обґрунтовані технологічні прийоми її підвищення, що обумовлює необхідність проведення подальших досліджень в цьому напрямку.

**Бібліографічний список**

1. Антонов А.В. Качество кокса и технологии коксования на основе более глубокого понимания поведения кокса в домновой печи / А.В. Антонов // Новости черной металлургии за рубежом. – 2018. № 1. – С. 11.
2. Kejiang Li. Advanced coke quality characterization and coke making techniques based on in depth understanding of coke behavior inside blast furnace / Li Kejiang, B. Mansoor, Z. Jianliang // AIS Tech 2016. Proceeding 16 – 19<sup>th</sup> May 2016. Pittsburgh, Pennsylvania, USA. P. 273 – 283.
3. Monaghan B.J. Reactivity of coke ash on aluminosilicate blast furnace hearth refractories / B.J. Monaghan, P.B. Drain, M.W. Chapman, R.J. Nightingate // ISI j International. 2014. Vol. 54. P. 810 – 819.

**Heat of blast furnace coke combustion. Factors of influence.**

D.V. Miroshnichenko, Doctor of Technical Sciences, I.V. Miroshnichenko, I.V. Shulga, PhD in technical sciences, Ya. S. Balayeva, Cand. technical sciences, O.O. Tereshchenko (SE “UKHIN”, NTU“KhPI”)

*It has been determined that pig iron production has the greatest potential for energy saving in ferrous metallurgy, while processes in blast furnaces and in coke production are the most energy intensive and carbon consuming.*

**Keywords:** *iron ore mining, ferrous metallurgy, blast furnaces, coke, blast furnace coke, coal, heat of combustion.*

## СУЛЬФОВУГІЛЛЯ ЯК КАТАЛІЗАТОРИ ОДЕРЖАННЯ ОКСИГЕНАТІВ

**В.М. Назаров, Д.В. Мірошніченко, Буй Ван Мінь**  
*Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут»*

*Виконано пошукові роботи з синтезу нових оксигенатів за наявності каталізатора СК-1. Одержано ефіри з задовільним виходом.*

**Ключові слова:** оксигенати, синтез, сульфовугілля, каталізатор СК-1.

Відомо, що реакція синтезу окремих простих ефірів –високооктанових компонентів моторних палив перебігає за присутності кислотних каталізаторів. Саме такі властивості має сульфовугілля [1]. Метою даної роботи було проведення пошукових дослідів з синтезу нових простих ефірів за наявності сульфовугілля в якості каталізатору.

В лабораторних умовах з відповідних спиртів за наявності сульфовугілля СК-1 було синтезовано наступні оксигенати: ди-*n*-бутиловий ефір, диізопропиловий ефір, метил-циклогексильовий ефір. Ідентифікацію продуктів проводили за густиною та температурою кипіння [2]. Вихід ефірів склав більш ніж 55 % від теоретичного.

### **Бібліографічний список**

1. Аронов С.Г., Скляр М.Г., Тютюнников Ю.Б. Комплексная химико-технологическая переработка углей / С.Г. Аронов. – К.: Техніка, 1968. – 262 с.
2. Свойства органических соединений. Справочник / Под ред. А.А. Потехина. – Л.: Химия, 1984. – 520 с.

### **Sulfocoals as a catalysts of a synthesis of the oxygenants**

V.N. Nazarov, PhD in technical sciences, D.V. Miroshnichenko, Doctor of Technical Sciences, Buj Van Min, student (Seen NTU «KhPI»)

*Completed search work with the synthesis of new catalyst in the presence of oxygenates SK-1. Received esters with satisfactory output.*

**Keywords:** *oxyhenats, synthes is of the esters, sulfocoals, SK-1.*

## ВИКОРИСТАННЯ ПОКАЗНИКА ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЙМАННЯ ВУГІЛЛЯ

Ю.В. Ніколайчук

*ДВНЗ «Донбаський державний педагогічний університет»*

Завдяки використанню відомого рівняння Кісінджера визначені енергії активації та передекспоненціального множника рівняння Ареніуса для займання вугілля різного ступеня метаморфізму і окиснення.

Встановлено, що константа швидкості процесу займання збільшується зі збільшенням ступеня окиснення і зниженням ступеня метаморфізму дослідного вугілля.

**Ключові слова:** вугілля, вугільні суміші, температура займання, кінетичні параметри, показники якості, кількісні залежності.

У роботі показано, що устаткування для визначення окиснення вугілля відповідно до ДСТУ 7611:2014 «Вугілля кам'яне. Метод визначення окиснення та ступеня окиснення» може бути використане для визначення кінетичних параметрів процесу займання, що визначаються в рамках неізотермічної формальної кінетики.

У таблиці 1 представлені значення енергії активації процесу досягнення температури займання і передекспоненціального множника для дослідженого вугілля.

Таблиця 1

Значення енергії активації і передекспоненціального множника  
для дослідженого вугілля

Постачальник, країна	Марка	Е, кДж/моль	А, с <sup>-1</sup>
Нају, Індонезія	Г	149,51	2,042·10 <sup>10</sup>
Нају, Індонезія (окиснений)	Г	153,64	8,021·10 <sup>10</sup>
Комсомольська, Україна	Ж	144,13	1,177·10 <sup>9</sup>
Riverside, США	К	157,42	7,940·10 <sup>9</sup>
Pocahontas, США	ПС	159,95	7,690·10 <sup>9</sup>

Оскільки значення констант швидкості залежать від обох параметрів рівняння Ареніуса, на рис. 1 представлені температурні залежності константи швидкості  $k$ , розраховані для інтервалу  $T = 300 - 425$  °С, що відповідає мінімальним і максимальним експериментальним значенням  $t_3$ .

Наведені результати свідчать про збільшення константи швидкості займання з:

1. Збільшенням ступеня окиснення вугілля в усьому інтервалі розглянутих температур.

2. Зниженням ступеня метаморфізму дослідженого вугілля.

Для більш чіткого уявлення цього результату на рис. 2 наведені залежності логарифма константи швидкості від показника виходу летких речовин для температури 350 °С.

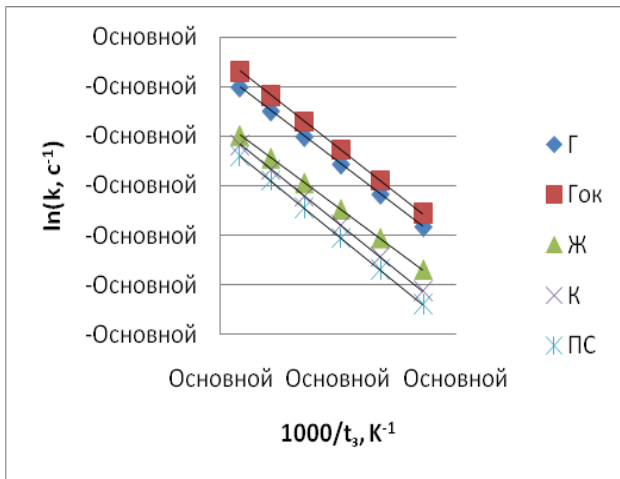


Рис. 1 – Залежність константи швидкості від температури займання

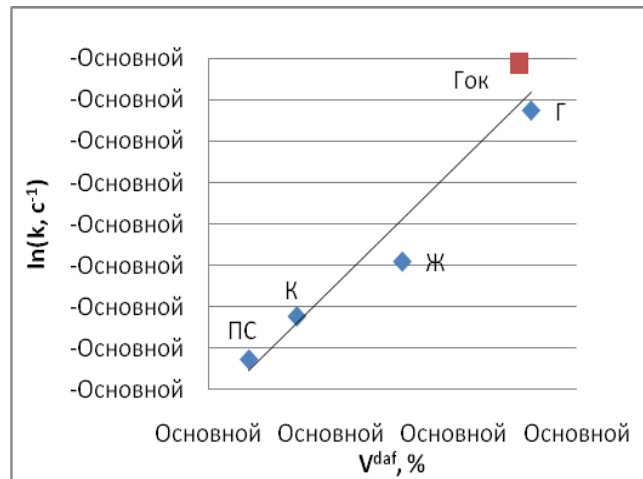


Рис. 2 – Залежність константи швидкості займання при 350 °С від Vᵈᵃᶠ

Аналіз залежності констант швидкості займання від ступеня окиснення зразка свідчить, що, незважаючи на підвищення значення енергії активації, результуюче значення  $k$  збільшується зі збільшенням вихідного вмісту кисню. Цей результат є наслідком збільшення в 4 рази значення передекспоненційного множника (табл. 1).

На нашу думку, збільшення ступеня окиснення є передумовою збільшення концентрації вільних радикалів, що виникають в процесі займання. У зв'язку з цим стає зрозумілим домінуючий внесок збільшення передекспоненціального множника в результуюче значення константи швидкості реакції.

### Бібліографічний список

1. Мирошніченко Д.В. Температура возгорания углей. Сообщение 1. Связь с показателями состава, строения и свойств / Д.В. Мирошніченко, Ю.С. Кафтан, Н.А. Десна, В.Н. Назаров, Ю.В. Николайчук // Кокс и химия. – 2016. – № 8. – С. 2 – 8.
2. Николайчук Ю.В. Температура займання вугілля. Практичне використання та економічна ефективність / Ю.В. Николайчук, Д.В. Мірошніченко, І.В. Шульга, Ю.С. Кафтан, Н.А. Десна, Є.І. Котляров // Углекимический журнал. – 2018. – № 3. С. 19 – 29.
3. ДСТУ 4096-2002 Методы отбора и подготовки проб к лабораторным испытаниям. – К.: Держстандарт Украины, 2002. – 35 с.

### Use of the index of fire temperature of coal.

Nikolaichuk Yu.V. State Pedagogical University "Donbas State Pedagogical University" (DDPU)

*Thanks to the use of the well-known Kissinger equation, in the chapter 4, activation energies and a preexponential multiplier of the Arrhenius equation for the ignition of coal of varying degrees of metamorphism and oxidation are determined.*

*It was established that the constant of the rate of the ignition process increases with the increase of the degree of oxidation and the decrease of the degree of metamorphism of the investigated coal.*

**Keywords:** *coal, coal mixtures, ignition temperature, kinetic parameters, quality indices, quantitative dependencies.*

## ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД СІРКОВОДНЮ НА КОКСОХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

І.В. Сінкевич

*Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут»*

*Розглядається проблема очищення та утилізації сірководневих вод електрохімічним окисненням сірководню.*

**Ключові слова:** *сірководень, електрохімічне окиснення, електроліз.*

Одним з перспективних напрямків для вирішення проблем очищення та утилізації сірководневих вод є електрохімічне окиснення сірководню. Його можна здійснити як при використанні зовнішнього джерела струму в електролізерах, так і за рахунок внутрішнього електролізу в електрокаталітичних реакціях на електропровідних каталізаторах. У цьому випадку взагалі відпадає необхідність використовувати зовнішнє джерело струму. Усе це дає можливість звести до мінімуму витрати енергії. Перевагою електрохімічного методу також є те, що він дозволяє змінювати фізико-хімічні властивості оброблюваної води. При цьому за рахунок керування електродними процесами створюються умови здійснення саме таких реакцій, які необхідні для організації екологічних, вискоефективних технологій обробки води.

Окиснення сірководню необхідно розглядати як результат двох послідовних процесів. Спочатку за рахунок електрохімічної реакції окиснення хлорид-іонів утворюються речовини які потім витрачаються на окиснення сірководню. Звідси випливає, що перший процес – електрохімічний, другий – хімічний. При електролізі можливо також пряме електрохімічне окиснення сірководню на аноді. Але для тих випадків, коли при електролізі у воді утворюються значні концентрації окиснювача (грами в літрі), частка прямого електрохімічного окиснення сірководню буде незначна мала. Отже, у першому випадку, при високих анодних потенціалах, електрохімічний процес є джерелом утворення речовини, споживаної в хімічній реакції із сірководнем, у другому – сірководень безпосередньо бере участь в електрохімічній реакції. Вибір режиму електрохімічного процесу повинен бути обґрунтований у першу чергу енергетичним розрахунками, значенням швидкості контрольованого процесу, неможливістю вторинного забруднення оброблюваної води, природою електродних матеріалів та ін.

Основним критерієм ефективності електрохімічної деструкції сірководню є швидкість його окиснення. Вона включає три основні стадії: - підвід сірководню до поверхні електрода; - адсорбцію сірководню; - електрохімічний розряд. При збільшенні поверхні електрода (об'ємно-пористого) полегшує підведення речовини до поверхні, але в цьому випадку затрудняється відвід продукту окиснення сірководню – сірки. У сірководневих розчинах стаціонарний потенціал обумовлено трьома рівноважними реакціями для різних форм сірководню: Аналіз результатів досліджень електрохімічного окиснення

сірководню показав, що в перший момент має місце адсорбція. Потім відбувається розрив зв'язку з утворенням елементарної сірки. Визначальним фактором очищення води від сірководню з використанням електрохімічних процесів є досягнення максимально можливих швидкостей його окиснення. Це реалізується при використанні об'ємно-пористих проточних електродів, для яких об'єктивними параметрами, що відображають особливості їх використання, є масоперенос і реакційна поверхня.

Було встановлено, що при обробці сульфідних вод з мінералізацією 6 – 8 г/дм<sup>3</sup>, утримуванням хлоридів 3,3 – 4,2 г/дм<sup>3</sup>, концентрацією сірководню 50 – 55 мг/дм<sup>3</sup> повне видалення сірководню досягається при середньому видатку електроенергії 2,5 – 3,0 кВт-ч/м<sup>3</sup> активним хлором, отриманим електрохімічно з оброблюваної води на анодах з ОРТА.

Експериментально визначені кінетичні параметри деструкції сірководню як продуктами анодних реакцій електролізу, так і безпосередньо в результаті електрохімічного окиснення на гладких і пористих електродах.

### **Бібліографічний список**

1. Фесенко Л.Н. Очистка воды от сероводорода на антрацитовой загрузке // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 4. С. 15 – 17.

### **Electrochemical waste water treatment from hydrogen sulfide at coke plants**

Synkevych Irina Valerievna Professor of the Department of Technology for the processing of oil, gas and solid paliva (National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute")

*The problem of purification and utilization of hydrogen sulphide water by electrochemical oxidation of hydrogen sulfide is considered.*

**Keywords:** *hydrogen sulfide, electrochemical oxidation, electrolysis.*

## КІНЕТИКА СУШІННЯ ГРАНУЛ ВІДХОДІВ ФЛОТАЦІЇ ВУГІЛЛЯ

Є.О. Скрипник

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*

На базі лабораторних досліджень кінетики сушіння гранул відходів флотації вугілля розроблена математична модель кінетики сушіння. В якості контрольованих змінних прийняті: температура, швидкість подачі сушильного агента, вихідна вологість формовок, питома вага псевдозрідженого шару, діаметр формовок. Продуктивність сушарки по випареній воді лінійно зростає від 600 до 1100 кг/(м<sup>2</sup>, год.) при одночасному зниженні витрат сушильного агента від 30 м<sup>3</sup>/(кг води) до 7 м<sup>3</sup>/(кг води) із збільшенням температури сушильного агента від 200 °С до 500 °С.

**Ключові слова:** відходи флотації вугілля, гранули, кінетика сушіння.

Сушку вологих формовок відходів флотації вугілля здійснювали в лабораторній сушарці псевдозрідженого шару. Методика дослідження передбачала приготування порції вологих формовок, подачу гарячого повітря в сушарку, завантаження формовок в сушарку, відбір проб гранул через заданий час сушки, аналіз гранул на залишкову вологість. В якості контрольованих змінних прийняті: температура, швидкість подачі сушильного агента, вихідна вологість формовок, питома вага псевдозрідженого шару, діаметр формовок. Результати окремих дослідів залежності кількості випарованої води від температури сушильного агента та діаметра формовок наведені в таблиці 1, від швидкості подачі сушильного агента в таблиці 2.

Таблиця 1

Залежність кількості випарованої води від температури сушильного агента

Діаметр формовок, мм	Кількість випарованої води, кг/(м <sup>2</sup> , год.)			
	Температура сушильного агента, °С			
	200	300	400	500
6	570	750	930	1240
7	540	720	900	1200
10	460	630	820	1160

Примітка: швидкість сушильного агента 3,3 м/с,  
питома вага псевдозрідженого шару 80 кг/м<sup>2</sup>.

Таблиця 2

Залежність кількості випарованої води від швидкості подачі сушильного агента

Діаметр формовок, мм	Кількість випарованої води, кг/(м <sup>2</sup> , год.)			
	Швидкість сушильного агента, м/с			
	2,6	2,9	3,2	3,3
6	560	640	710	750
7	530	610	680	720
8	500	580	650	690
10	440	520	590	630

Примітка: питома вага псевдозрідженого шару 80 кг/м<sup>2</sup>,  
температура сушильного агента, 300 °С.

На базі лабораторних досліджень кінетики сушіння гранул відходів флотації вугілля розроблена адекватна математична модель кінетики сушіння гранул, яка включає 5 контрольованих змінних: температура, швидкість подачі сушильного агента, вихідна вологість формовок, питома вага псевдозрідженого шару, діаметр формовок.

Аналіз експериментальних даних показав, що продуктивність сушарки по випареній воді практично лінійно зростає від 600 до 1100 кг/(м<sup>2</sup>, год.) при одночасному зниженні витрати сушильного агента від 30 м<sup>3</sup>/(кг води) до 7 м<sup>3</sup>/(кг води) із збільшенням температури сушильного агента від 200 °С до 500 °С. Витрата сушильного агента знижується з 45 м<sup>3</sup>/(кг води) до 8 м<sup>3</sup>/(кг води) із збільшенням кількості гранул в псевдозрідженому шарі з 20 кг/м<sup>2</sup> до 100 кг/м<sup>2</sup>. Збільшення діаметра гранул від 3 мм до 10 мм супроводжується зниженням продуктивності сушарки по іспареній воді на 30 %.

### **Kinetics of drying granules of waste flotation of coal**

*A mathematical model of drying kinetics has been developed on the basis of laboratory studies of the drying kinetics of granules of coal flotation waste. The following variables were taken as controlled variables: temperature, feed rate of the drying agent, specific gravity of the fluidized bed, diameter of the molds. The capacity of the dryer for evaporated water increases linearly from 600 to 1100 kg/(m<sup>2</sup>, hour) while reducing the supply of the drying agent from 30 m<sup>3</sup>/(kg of water) to 7 m<sup>3</sup>/(kg of water) with increasing temperature of the drying agent from 200 °C to 500 °C.*

**Keywords:** coal flotation waste, granules, drying kinetics.

## ХІНГІДРОННИЙ МЕТОД ОЧИЩЕННЯ ПАЛИВНИХ ГАЗІВ ВІД СІРКОВОДНЮ

А.В. Слюзар, З.О. Знак, Я.А. Калимон

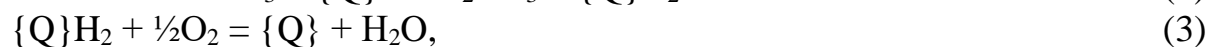
*Національний університет «Львівська політехніка»*

*Описано хімізм та технологічні особливості хінгідронного методу очищення газів від сірководню. Показано, що в технологічній схемі методу потрібно передбачати стадію попередньої олігомеризації хінгідрону, на якій одержувати хінгідронний окисник-каталізатор, який має підвищену селективність окиснення хемосорбованого сірководню до сірки. У разі очищення сірководеньвмісних газів з високим вмістом CO<sub>2</sub>, у схему потрібно застосовувати додаткову стадію декарбонізації поглинального розчину.*

**Ключові слова:** очищення газів, сірководень, хінгідронний каталізатор, абсорбер ГАКД.

Очищення паливних (природний, попутний нафтовий, коксовий, біогаз тощо) газів від сірководню є актуальним питанням промисловості і реалізація цих процесів може водночас забезпечити одержання паливного газу нормованої якості, захистити обладнання від корозії, зберегти довкілля від шкідливих викидів та забезпечити промисловість сіркою, сульфатною кислотою чи іншими сполуками Сульфур [1].

Хінгідронний метод очищення газів від сірководню розроблявся для очищення вентиляційних (кисеньвмісних) газів від сірководню. Промислова установка хінгідронного методу, продуктивністю 120000 м<sup>3</sup>/год, успішно працювала більше 10 років на ВО «Сірка» м. Новий Розділ Львівської обл. [2]. Основні стадії хінгідронного процесу очищення газів від сірководню можна описати такими хімічними рівняннями:



де {Q} і {Q}H<sub>2</sub> – окисна і відновна форми хінгідронного каталізатора.

Хінгідронний каталізатор одержують під час попередньої олігомеризації хінгідрону за певних умов. Під час вистоявання хінгідрону (молекулярного комплексу хінону і гідрохінону – C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>·C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>) у лужному (содовому) розчині за доступу повітря утворюються олігомеризовані продукти з мольною масою 300...800 г/моль, які володіють нижчим редокс потенціалом (E= -200...-500 мВ), ніж неолігомеризований продукт, і тому, створюються «м'якші» умови окиснення, за яких H<sub>2</sub>S селективно окиснюється до S, а не до побічного продукту – Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Ці ж продукти мають нижчу схильність до утворення сульфозаміщених сполук.

За рахунок наявності кисню у вентиляційних газах і застосування високоінтенсивного масообмінного апарату – горизонтального абсорбера з

ковшоподібними диспергаторами (ГАКД) процеси за реакціями (1), (2) і (3) протікають одночасно і в одному апараті. В абсорбері ГАКД за рахунок створення щільної крапельної завіси на шляху руху газу, швидкого оновлення поверхні крапель рідини забезпечується практична рівність дифузійних опорів зі сторони рідинної і газової фаз. Конструкція апарату також забезпечує здійснення багатостадійного масообмінного процесу (кожен диспергатор - стадія) та необхідний час перебування реагентів у розчині. Тобто апарат повністю відповідає фізико-хімічним основам хемосорбції як сірководню, так і кисню.

Технологічна схема очищення паливних газів повинна включати 2 масообмінні апарати: абсорбер для очищення газу від сірководню (рівняння 1) і абсорбер для регенерації поглинального розчину киснем повітря (рівняння 2 і 3). За наявності в газах вуглекислого газу (за його високих концентрацій 5 % об. і більше), потрібно застосовувати ще один абсорбер для декарбонізації хінгідронного поглинального розчину [2].



За невисоких надлишкових тисків (до 0,1 МПа) газів, що поступають на очищення, на всіх стадіях процесу доцільно застосовувати абсорбери ГАКД. Однак вони не придатні для використання за високих тисків газів і, для хемосорбції  $\text{H}_2\text{S}$  з газів доцільно використовувати, наприклад, барботажні тарілкові абсорбери.

### Бібліографічний список

1. Yavorskiy V.T., Slyuzar A.V., Kalymon Y.A. Sulfur gas production in Ukraine (review) // Chemistry and Chemical Technology. – 2016. – Vol. 10. – No. 4(s). – P. 613 – 619.
2. Менковский М.А., Яворский В.Т. Технология серы. – Москва: Химия, 1985 – 328 с.

### Quinhydrone method of fuel gases purification from hydrogen sulfide

A.V. Slyuzar, PhD in technical sciences, Z.O. Znak, Doctor of technical sciences, Ya.A. Kalymon, Doctor of technical sciences (Lviv Polytechnic National University)

*The chemistry and technological features of the quinhydrone method of fuel gases purification from hydrogen sulfide are described. It is shown that in the technological scheme of the method it is necessary to predict the stage of the previous oligomerization of quinhydrone for obtaining the quinhydrone oxidant-catalyst, which has an increased selectivity of oxidation of  $\text{H}_2\text{S}$  to sulfur. In the case of purification of hydrogen sulfide containing gases with a high concentration of  $\text{CO}_2$ , in the scheme should be used an additional stage for the absorbent solution decarbonization.*

**Keywords:** *gases purification, hydrogen sulfide, quinhydrone, horizontal apparatus with bucket-like dispersers.*

## ФЛОТАЦІЙНЕ ЗБАГАЧЕННЯ ВУГІЛЛЯ У СОЛЬОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

В.П. Соколова, О.Ю. Даниленко

*Криворізький металургійний інститут Національної  
металургійної академії України*

*Досліджено флотацію вугілля з використанням хлориду натрія в якості реагента-модифікатора. Показано, що при флотації вугілля в сольовому середовищі, утвореному хлоридом натрія, при концентрації хлорид-іонів 4 – 6 г/л суттєво збільшується вихід концентрату, зольність відходів та вилучення горючої маси в концентрат. При цьому значно зменшується витрата флотореагентів.*

**Ключові слова:** *флотація, вугілля, реагент-модифікатор, сольове середовище, хлорид натрія, хлорид-йон, зольність, концентрат.*

Неорганічні солі, що використовуються як модифікатори при флотації, можуть представляти природне сольове середовище, застосування якого для підвищення ефективності збагачення флотацією може бути доцільним. За численними аналізами, переважаючими компонентами в природних сольових середовищах є катіони натрію та аніони хлору. Така особливість характерна для шахтних та промивних вод вугільних басейнів. Вміст хлорид-іонів у разі застосування для промивання вугілля прісної води підвищується з 119,4 до 1187 мг/л, а при використанні технологічної води вміст іонів  $\text{Cl}^-$  підвищується з 4560 до 6610 мг/л [1].

Вплив природного сольового середовища на флотованість вугілля вивчався раніше [2]. Відмічено підвищення селективності флотації при більш низькій витраті реагентів і як наслідок збільшення виходу концентрату і зниження його зольності.

В результаті виконаних експериментальних досліджень показано, що при флотації газового вугілля в сольовому середовищі, створеному хлоридом натрію, при концентрації хлорид-іонів 4 – 6 г/л істотно покращуються технологічні показники і значно скорочується витрата флотореагентів. Так, вихід концентрату збільшується на 5,9 – 6,4 %, зольність відходів зростає на 16,2 – 17,2 %, вилучення горючої маси в концентрат збільшується на 6,8 – 7,1 %. Зольність концентрату залишається практично незмінною (збільшилась на 0,1 – 0,3 %). При зольності вихідного продукту 23,3 % вихід концентрату зольністю 10,3 – 10,5 % склав 81,2 – 81,7 %, зольність відходів – 79,4 – 80,4 %. У водних розчинах електроліту збільшується піноутворення, що посилює ефект флотації. При цьому зменшується витрата реагенту-збирача (ТС-1) в 1,87 разу (з 1500 до 800 г/л) та піноутворювача (КОБС) в 1,67 разу (з 50 до 30 г/т). Подальше збільшення вмісту хлорид-іонів призводить до підвищення зольності концентрату на 1 – 1,3 %, що зумовлено зниженням селективності розділення внаслідок надмірного піноутворення.

Запропоновано механізм дії хлорид-йонів при флотації вугілля, який пояснює підвищення піноутворення у присутності електроліту хлориду натрію зміною фізико-хімічних властивостей адсорбційних шарів, що формуються гетерополярними реагентами на межі розділу «рідина-повітря». Така зміна викликана витісненням аполярної групи піноутворювача під дією хлорид-йонів з водної фази у повітря, полярної групи – у водну фазу. В результаті зменшується об'ємна концентрація граничної адсорбції піноутворювача, при якій на поверхні розділу рідина-газ утворюється насичений адсорбційний шар. Це пояснює збільшення піноутворення при базовій витраті реагентів, і як наслідок зменшується витрата піноутворювача і збирача для ефективності процесу флотації [3].

### Бібліографічний список

1. Круть А.А. Минерализация воды при очистке соленого угля / А.А. Круть, Н.И.Музалевская, А.И. Фатеев // Уголь Украины. – 2016. – № 9 – 10. – С. 62 – 65.
2. Рубинштейн Ю.Б. Использование минерализованных шахтных вод при флотации углей Карагандинского бассейна / Ю.Б. Рубинштейн, М.Р. Жандосова // Кокс и химия. – 1987. – № 1. – С. 7 – 9.
3. Соколова В.П. Повышение эффективности флотации угля с использованием солевой среды / В.П. Соколова // Уголь Украины. – 2018. – № 9. – С. 43 – 46.

### Flotation of coal in a salt environment

V.P. Sokolova, PhD of technical sciences, O.U. Danilenko, student  
(KMI of NMetAU)

*Flotation of coal is investigational with the use of sodium chloride as a conditioning agent. It is shown, that during flotation of gas coal in a salt environment, formed by the sodium chloride, during the concentration of chloride ions 4 – 6 g/l substantially increase exit of concentrate, ash-content of wastes and exception of combustible mass in a concentrate. Thus the expense of flotation reagents diminishes considerably.*

**Keywords:** *flotation, coal, conditioning agent, salt environment, sodium chloride, chloride-ion, ash-content, concentrate.*

# КОЛИВАННЯ ЯКОСТІ ВУГІЛЛЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЙОГО УСЕРЕДНЕННЯ НА КОКСОХІМІЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

В.П. Соколова, В.Ю. Бондаренко

*Криворізький металургійний інститут Національної металургійної академії України*

Досліджено коливання показників якості вугілля різних марок та постачальників, що надходить на коксохімічне виробництво. Запропоновано методи підвищення ефективності усереднення вугілля на закритих складах. Визначено зниження коливань якісних показників вугілля внаслідок підвищення ефективності його усереднення.

**Ключові слова:** вугілля, коливання, показники якості, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, закритий склад, усереднення вугілля.

Для різних марок та постачальників вугілля характерні коливання всіх показників якості. Так, наприклад, коливання показників якості вугілля (за середньоквадратичними відхиленнями  $\sigma$  та коефіцієнтами варіації  $v$ ) для вологи вугілля є наступним:  $\sigma = 0,35 - 1,59 \%$ ,  $v = 3,6 - 25,0 \%$ . Коливання зольності та товщини пластичного шару менш значні, коефіцієнти варіації відповідно  $1,6 - 9,9 \%$  та  $3,8 - 8,8 \%$  [1]. Суттєві коливання якості вугілля зумовлюють необхідність застосування заходів для підвищення ефективності його усереднення. Зі збільшенням числа бункерів, з яких одночасно видається вугілля окремої марки, коливання показників якості зменшуються [2]. Але збільшення кількості бункерів стримується збільшенням відхилень, пов'язаних з точністю роботи дозаторів. Тому доцільно приймати кількість бункерів, виходячи з умов 50 %-го заповнення половини необхідної кількості бункерів, та 100 %-го – другої половини. Це забезпечить збільшення необхідної кількості бункерів в 1,25 рази та додаткове підвищення ефективності усереднення внаслідок різного механізму витікання вугілля з бункерів, заповнених таким чином.

Таблиця 1

Середньоквадратичні відхилення показників якості вугілля після бункерів

Марка вугілля, ЦЗФ	$W_t^r$ , %	$A^d$ , %	$S_t^d$ , %	$V^{daf}$ , %	у, мм	Середнє зменшення $\sigma_y$ , відн. %
	$\sigma_{y1}$	$\sigma_{y1}$	$\sigma_{y1}$	$\sigma_{y1}$	$\sigma_{y1}$	
	$\sigma_{y2}$	$\sigma_{y2}$	$\sigma_{y2}$	$\sigma_{y2}$	$\sigma_{y2}$	
Ж (Київська)	0,91	0,76	0,32	1,28	1,23	28,7
	0,65	0,54	0,23	0,91	0,87	
К (Північна)	0,26	0,40	0,053	0,51	0,58	14,2
	0,22	0,34	0,046	0,44	0,50	
К (Чумаковська)	0,90	0,40	0,15	0,51	1,34	12,9
	0,78	0,35	0,13	0,45	1,16	
Ж (Калінінська)	1,00	0,37	0,15	0,42	1,08	26,6
	0,71	0,26	0,11	0,30	0,77	

В табл. 1 наведено результати розрахунків середньоквадратичних відхилень показників якості деяких компонентів вугільної шихти після бункерів для стандартної  $\sigma_{y1}$  та збільшеної  $\sigma_{y2}$  кількості бункерів за відомою формулою [2].

За даними таблиці видно, що запропоновані заходи для підвищення ефективності усереднення в бункерах закритого складу дозволяють зменшити коливання показників якості вугілля в середньому на 12,9 – 28,7 відн. % в порівнянні із зменшенням коливань якості вугілля, що має місце при стандартній кількості бункерів.

### Бібліографічний список

1. Лялюк В.П. Исследование колеблемости качества углей, поступающих на коксование / В.П. Лялюк, В.П. Соколова, И.А. Ляхова, Д.А. Кассим // Кокс и химия. – 2013. – № 1. – С. 2 – 7.

2. Шатоха И.З. Технология подготовки угля на стадии усреднения для производства доменного кокса / И.З. Шатоха, В.Г. Иваницкий, В.И. Шатоха. – Дніпропетровськ: Пороги, 1997. – 244 с.

### Variability of coal quality and increase of efficiency of coal blending on a by-product coke plant

V.P. Sokolova, PhD of technical sciences, V.U. Bondarenko, master  
(KMI of NMetAU)

*Variability of quality indexes of different ranks and sources coal that to be received by a by-product coke plant is investigational. The methods of increase of efficiency of coal blending are offered on the storage bunker. The decrease of variability of coal quality indexes as a result of increase of efficiency of coal blending is calculated.*

**Keywords:** *coal, variability, quality indexes, mean-square deviation, variation coefficient, closed storage bunker, coal blending.*

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КАМ'ЯНОВУГІЛЬНОЇ СМОЛИ СЛАБКОСПІКЛИВОГО ГАЗОВОГО ВУГІЛЛЯ НА ДИЛАТОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ШИХТ ДЛЯ ПРОЦЕСУ КОКСУВАННЯ

А. Соломаха, Є.І. Малий

*Національна металургійна академія України*

Для досягнення світових вимог щодо якості доменного коксу необхідно використовувати якісне коксівне вугілля з визначеним петрографічним і мінеральним складом та низьким вмістом сірки. Проведені в ДП «УХІН» дослідження вітчизняного шахтного фонду коксівного вугілля показали, що сировинна база України дозволяє отримувати доменний кокс з низькими показниками характеристиками.

Тому, для отримання доменного коксу з поліпшеними показниками при існуючій сировинній базі коксохіміки використовують і розробляють різноманітні способи та технологічні прийоми, що дозволяють підвищити якісні характеристики доменного коксу. До них можна віднести: розробку диференційованих складів вугільних шихт для коксування з врахуванням марочних та петрографічних складових, а також модифікацію вугільної шихти органічними модифікаторами.

Модифікація шихти (табл.) відбувалася кам'яновугільною смолою слабкоспікливого вугілля марки «Г».

Таблиця

Термопластичні властивості дослідних шихт

Середньозважена проба шихти (35Г+30Ж+20К+15ПС)	Кам'яновугільна смола з вугілля «Г», що отримана при остаточній температурі, °С	Дилатометричні показники				
		П <sub>п</sub> , с	П <sub>с</sub> , с	І <sub>с</sub> , мм	П <sub>заг</sub> , с	V <sub>с</sub> , м/с
базова	-	421	344	52	765	0,15
дослідна	300	404	361	42	765	0,11
		452	352	40	804	0,11
	360	380	333	57	713	0,17
		395	285	61	680	0,24
	420	409	309	51	718	0,16
		400	338	53	738	0,15
	480	409	309	50	718	0,16
		414	361	50	775	0,13
	540	395	300	55	695	0,18
		371	347	60	718	0,13

Якщо порівняти одержані показники між собою, то можна констатувати позитивний вплив кам'яновугільної смоли, що була отримана при температурі 540 °С з газового вугілля на дилатометричні характеристики базової шихти.

# ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРЫ УГЛЕЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Е.Л. Сорокин

*Национальная металлургическая академия Украины*

В работе проведены исследования по изучению строения плотностных фракций углей имеющих различную стадию метаморфизма. При помощи атомно-силовой микроскопии изучены поверхности скола плотностных фракций, также рассмотрены мацеральный состав и химическое строение. Результаты исследований показали, что у углей меньшей стадии метаморфизма структура макромолекул носит хаотический характер и имеет развитую систему боковых алифатических цепей.

**Ключевые слова:** угли, плотностные фракции, строение, атомно-силовая микроскопия, фрактальный анализ, элементный состав, ИК-спектроскопия.

Принимая во внимание, что ископаемые угли относятся к невозобновляемым источникам энергии, то их переработка должна предусматривать максимальное использование их потенциала. Для изучения структуры спекаемых углей были первоначально проведено разделение по плотности и проведены исследования при помощи методов атомно-силовой микроскопии, петрографии, элементного анализа, ИК-спектроскопии.

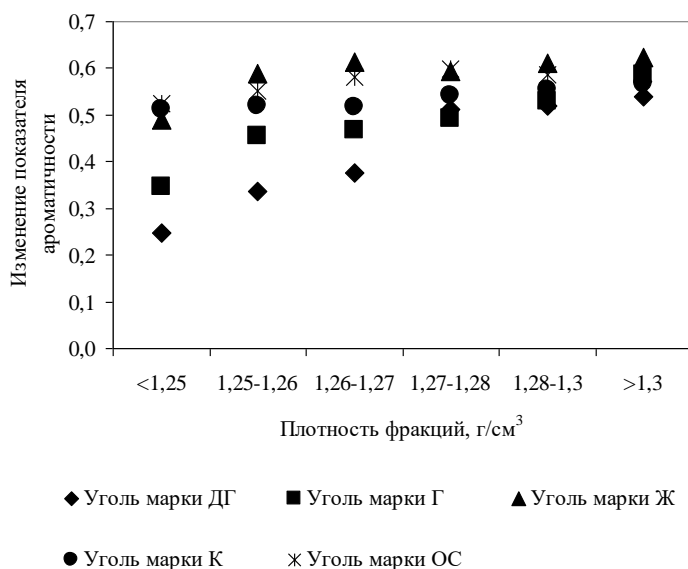


Рисунок 1 Показатель ароматичности плотностных фракций

Результаты исследований показали, что разделение углей по плотностным фракциям приводит к изменению их структуры.

Следует отметить, что в состав углей различных стадий метаморфизма могут входить органические соединения имеющие идентичные структуры, а следовательно и идентичные свойства.

Также по результатам исследований было определено, что показатель ароматичности плотностных фракций углей четко разграничивает марки

углей только при плотности проб от <1,25 г/см<sup>3</sup> до 1,27 – 1,28 г/см<sup>3</sup>. Увеличение плотности изучаемых фракций приводит к уменьшению различий в рассчитанном показателе ароматичности. Дальнейшее повышение плотности фракций углей снижает дифференциацию.

## **The study of the structure of coal for efficient use**

E.L. Sorokin, PhD in technical sciences (NMetAU)

*In this paper, studies have been conducted to study the structure of the density fractions of coal having different metamorphism stages. With the aid of atomic force microscopy, the cleaved surfaces of the density fractions were studied, the maceral composition and chemical structure were also examined. The results of studies have shown that in coals of a lower metamorphic stage, the structure of macromolecules is chaotic and has a developed system of aliphatic lateral chains.*

**Keywords:** *coal, density fraction, structure, atomic force microscopy, fractal analysis, elemental composition, IR-spectroscopy.*

## НЕЙТРАЛІЗАЦІЯ ШКІДЛИВОГО ВПЛИВУ КОКСОХІМІЇ НА АТМОСФЕРУ

**В.Ю. Тищук, І.Б. Ковальова, М.Д. Бобров**  
*Криворізький металургійний інститут Національної  
металургійної академії України*

*Визначено титомі викиди забруднюючих речовин при підготовці вугільної шихти, завантажені шихти в камери коксових печей, вигрузці гарячого коксу в гасильні вагони. В якості способів пилогазоподавлення при різних технологічних процесах використовують аспіраційні системи з подальшою нейтралізацією шкідливих речовин в апаратах сухого і мокрого очищення – циклони, скрубери. Представлені засоби дозволять захистити повітря робочих зон і атмосферне повітря від шкідливих викидів коксохімії.*

**Ключові слова:** коксохімія, шкідливі викиди, аспіраційні системи, циклони, скрубери.

У коксохімічному виробництві основними процесами, пов'язаними з найбільшими викидами в повітря робочих зон і атмосферного повітря, є підготовка шихти, її транспортування, завантаження шихти в камери коксових печей, вигрузка гарячого коксу, сортування коксу. В цеху вуглепідготовки велика кількість пилу (0,4 кг/т вугілля) утворюється при падінні вугілля. Для пиловловлювання споруджуються укриття і аспіраційні системи з пилоочищенням в циклонах і мокрих скруберах. Для попередження виносу пилу доцільно застосовувати також спосіб змочування шихти розчинами поверхнево-активних речовин.

При завантаженні вугільної шихти в розпечені коксові печі утворюються залпові викиди парогазової суміші у кількості 3 – 5 м<sup>3</sup>/т шихти та значні виділення пилу і газів, які характеризуються такими даними, г/т коксу: 400 пил; 46 CO; 22 H<sub>2</sub>S; 17 NH<sub>3</sub>; 0,6 HCN; 1,1 C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH; 190 C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>; 32 SO<sub>2</sub>; 55 NO<sub>x</sub>.

Найбільш ефективним способом боротьби з викидами при цьому є бездимне завантаження шихти. При цьому утворені пилогазовиділення відсмоктують за допомогою парового або гідравлічного інжектора. Видача коксу з камер коксування в гасильний вагон призводить до залпових, протягом 30 – 40 секунд, газопилових викидів, г/т коксу: 750 пил; 7,6 H<sub>2</sub>S; 51 NH<sub>3</sub>; 0,5 C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH; 22 SO<sub>2</sub>; 3,6 NO<sub>x</sub>; 36 C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>; 0,1 HCN.

При подальшому гасінні коксу водою, в атмосферу виділяються шкідливі викиди в кількості, приблизно, 100 м<sup>3</sup>/т коксу. Концентрація окремих забруднювачів в цих газах становить, г/м<sup>3</sup>: 110 пил; 31 CO; 16 SO<sub>2</sub>; 0,2 H<sub>2</sub>S; 2,9 NO<sub>x</sub>; 70 C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>.

Результати аналітичних та експериментальних досліджень свідчать, що ефективним способом боротьби з шкідливими викидами є використання великих пересувних аспіраційних укриттів над гасильним вагоном, що приєднуються до стаціонарного колектора і газоочисних пристроїв з подальшою нейтралізацією пилогазових викидів в апаратах сухого та мокрого

очищення – циклонах, скруберах. При цьому над розжареним коксом, що потрапляє в гасильний вагон, виникає інтенсивна висхідна течія нагрітого повітря, яка залучає до руху значні маси навколишнього атмосферного повітря. Об'єм цих газів зазвичай складає декілька десятків кубометрів. Представлений комплекс заходів дозволить захистити повітря робочих зон і атмосферного повітря від шкідливих викидів коксохімії.

### **Neutralization of the harmful effects of coke chemistry on the atmosphere**

V.Yu. Tischuk, Doctor of Technical Sciences, I.B. Kovalova, Senior Lecturer,  
M.D. Bobrov, student (KMI NMetAU)

*The specific emissions of pollutants during the preparation of the coal charge, determined when the charge is loaded into the coke oven chambers and unloaded hot coke into the wagons. As methods of sawing and gas suppression in various technological processes, aspiration systems are used with subsequent neutralization of harmful substances in dry and wet cleaning machines - cyclones, scrubbers. The presented means will allow to protect the air of working areas and atmospheric air from harmful emissions of coke chemistry.*

**Keywords:** coke chemistry, harmful emissions, aspiration systems, cyclones, scrubbers.

## АНАЛІЗ ВИДІВ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА ДЛЯ ТЕС ТА ПРОМИСЛОВИХ ТЕЦ УКРАЇНИ

О.І. Топал, Л.С. Гапонич, І.Л. Голенко

*Інститут вугільних енерготехнологій НАН України*

*На підставі аналізу стану паливного комплексу України, альтернативних видів палива та позабалансових твердих палив, параметрів їхньої якості та досвіду використання у світі зроблено висновки щодо перспектив їх використання в енергетиці України.*

**Ключові слова:** енергетика, альтернативне паливо, буре вугілля, торф, RDF-паливо.

У зв'язку з гострим дефіцитом енергетичного вугілля, особливо антрацитової групи, та впровадженням в енергетичний сектор України європейських вимог щодо низьковуглецевого шляху розвитку виникає потреба у залученні в паливну базу ТЕС і промислових ТЕЦ України альтернативних та позабалансових твердих палив.

Україна має значні поклади бурого вугілля, що оцінюються в 6,5 млрд т і в основному зосереджені в Дніпровському буровугільному басейні, зокрема на родовищах Дніпропетровської, Харківської, Черкаської, Житомирської, Кіровоградської та Полтавської областей [1 – 3]. З них балансові запаси бурого вугілля становлять 2,6 млрд т, з яких 915 млн т можна видобувати відкритим способом. Позитивним фактором використання бурого вугілля є його низька вартість – на рівні 10 – 12 дол. США/т, після сушки – 30 – 35 дол. США/ т. Водночас, до негативних властивостей українського бурого вугілля, які потребують врахування при розробці методів його використання в теплоенергетиці, відносяться: низька нижча теплота згоряння (до 2000 ккал/кг) внаслідок високого вмісту вологи (більше 50 %); високий вміст сірки на суху масу ( $S_t^d = 3,0 - 4,5 \%$ ); крихка земляста структура, що призводить до значного збільшення вмісту дріб'язку при сушінні.

Високий вміст вологи (понад 50 %) вимагає значних витрат енергії на сушіння бурого вугілля до значень рівноважної вологи, яка становить 12 – 13 %. Це суттєво обмежує можливості транспортування рядового бурого вугілля на відстані понад 100 км від місць видобування та потребує додаткових витрат також і на брикетування. Високий вміст сірки ( $S_t^d = 3,0 - 4,5 \%$ ) порівняно з середнім вмістом сірки (1,7 – 1,9 %) енергетичного вугілля, що постачається на ТЕС України призводить до наднормативних викидів оксидів сірки, що вимагає встановлення високовартісного екологічного обладнання. Особливістю висушеного бурого вугілля є висока здатність до окислення та самозаймання, що ускладнює процес його тривалого зберігання без допоміжних заходів та транспортування.

На сьогодні практично всі буровугільні кар'єри знаходяться в непридатному до промислового видобування стані (затоплені, зруйновано обладнання, та ін.), брикетні фабрики закриті. Видобуток відбувається лише на

Мокрокалігорському родовищі (з розвіданими запасами 7 млн т) в обсягах до 50 тис. т на рік та декларованою можливістю видобутку до 300 тис. т на рік.

Водночас, буре вугілля широко використовує в світі як енергетичне паливо [3, 4]. Для довідки, отримання електроенергії з буровугільної сировини становить у Греції 68 %, Чехії – 63 %, Польщі – 42 %, Німеччині – 27 %. Проте пряме перенесення сучасних технологій в Україну неможливе, оскільки переважна більшість з них розрахована на вугілля з вмістом вологи менше 30 %, малосірчисте, із щільною структурою. В Україні вважається доцільним використання бурого вугілля в рамках нового будівництва енергетичних комплексів потужністю 50 – 250 МВт безпосередньо біля місць видобутку на основі спалювання в пиловугільних та ЦКШ котлоагрегатах з встановленням систем сірко- та азотоочистки.

Вирішення проблем використання бурого вугілля в ПЕК України може бути здійснено впровадженням на теплових електростанціях наступних технологій його термічної переробки: спалювання на існуючих ТЕС у суміші з кам'яним вугіллям газової групи, спалювання в циркулюючому киплячому шарі; спалювання в потоці з системами сірко- та азотоочистки [5].

Запаси торфу в Україні на відведених під промислове освоєння родовищах становлять 22,6 млн т [1]. Видобуток торфу зараз складає менше 0,6 млн т, при цьому значна частина з цього використовується як добриво. Основні поклади зосереджені в Рівненській, Волинській, Сумській, Чернігівській, Житомирській, Черкаській, Тернопільській, Львівській, Київській областях. Торф відноситься до низькокалорійного палива (калорійність до 2000 ккал/кг, волога близько 50 %), розсипається при сушінні, проте відрізняється дуже малим вмістом загальної сірки ( $S_t^d = 0,2 - 0,5 \%$ ) і низькою зольністю (менше 15 % на суху масу). Вважається можливим використання торфу для заміщення газу в комунальній енергетиці за умови розроблення ефективних технологій його термічної переробки.

Україна має також значний потенціал щодо залучення альтернативних видів палива – біомаси, RDF-палив та ін., які зараз не використовуються. RDF-паливо, або Refuse Derived Fuel, – це паливо, що виробляється з твердих побутових відходів. Орієнтовні обсяги отримання RDF-палив з теплою згоряння 2100 – 2400 ккал/кг тільки в Києві складають 260 – 530 тис. т щорічно.

### **Бібліографічний список**

1. Сивий М. І. Географія мінеральних ресурсів України: монографія / М. Сивий, І. Паранько, Є. Іванов. – Львів: Простір М, 2013. – 684 с.
2. Майстренко О.Ю., Топал О.І., Гапонич Л.С. Сучасний стан вугільної енергетики України та перспективи її оновлення і розвитку // Наукові праці НУХТ. – 2010. – № 32. – С. 43 – 47.
3. Буляндра О.Ф. Розробка технологій термічної переробки бурого вугілля для енергетичних котлів / О.Ф. Буляндра, Л.С. Гапонич, М.В. Чернявський // Наукові праці НУХТ. – 2011. – № 37, 38. – С. 140 – 146.
4. Майстренко А.Ю. Особенности сжигания днепровского бурого угля в циркулирующем кипящем слое / А.Ю. Майстренко, Н.В. Чернявский,

А.И. Топал, А.Ю. Провалов, А.В. Косячков, А.А. Батрак // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2006. – №5. – С. 15 – 21.

5. Вольчин І.А. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику країни // І.А. Вольчин, Н.І. Дунаєвська, Л.С. Гапонич, М.В. Чернявський, О.І. Топал, Я.І. Засядько. – К.: ГНОЗІС. – 2013. – 310 с.

**Analysis of alternative fuel variants for power plants and combined heat and power plants (CHP) of Ukraine**

O. Topal, PhD in technical sciences, L. Haponych, PhD in technical sciences,  
I. Golenko, PhD in technical sciences

*On the basis of analysis of energy sector of Ukraine, alternative sorts of fuel and off-balance solid fuel, their qualitative parameters and the experience of their use all over the world, the conclusions and recommendations related to perspectives of the above fuels involvement in the energy sector of Ukraine have been produced.*

**Keywords:** *energy sector, alternative fuel, brown coal, RDF.*

## ЗМІНА ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ОРГАНІЧНОЇ МАСИ СОЛОНОГО ВУГІЛЛЯ ПРИ ВОДНОМУ ЕКСТРАГУВАННІ

А.І. Фатєєв<sup>1</sup>, Н.І. Дунаєвська<sup>1</sup>, Т.Г. Шендрік<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут вугільних енерготехнологій НАН України

<sup>2</sup>Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України

Визначено вплив водної промивки на елементний склад органічної маси солоного вугілля. Встановлено зменшення вмісту основних елементів (кисню, азоту, водню, сірки) та зольності в процесі водного екстрагування.

**Ключові слова:** солоне вугілля, водна екстракція, органічна маса, елементний склад.

Вугілля з підвищеним вмістом лужних і лужноземельних металів (т.з. солоне вугілля (СВ)) посідає чинне місце серед резервних джерел енергії не тільки в Україні, але й у багатьох країнах світу (Китай, США, Росія, Німеччина, Австралія) [1]. Сполуки лужних металів (луги, солі) є універсальними каталізаторами (реагентами) у багатьох процесах термічної конверсії викопної сировини та біомаси [2]. Видалення солей водною промивкою змінює не тільки бруто-показники термоконверсії СВ, але й впливає на якість органічної маси вугілля (ОМВ). Оскільки це питання є відкритим, дослідженню цих змін присвячена наша робота.

Зразки солоного та знесолоного вугілля були подрібнені до фракції 0 – 0,2 мм. Екстракція солей з вугілля проводилася за оптимізованими раніше параметрами [3]: часом (5 – 10 хвилин), температурою (20 °С) та співвідношенням твердої фази до рідкої (Т:Р = 1:3), з подальшим висушуванням проби до постійної маси. Одержані зразки піддавали елементному аналізу за стандартними методиками. Отримані результати щодо елементного складу (на суху знесолену масу, *daf*) зразків наведені на рис. 1.

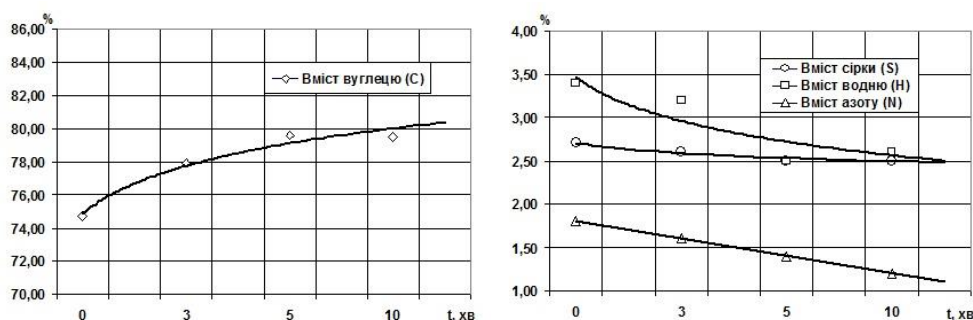


Рис. 1 – Вміст макроелементів у складі ОМВ в залежності від часу знесолення

Маємо, що при знесоленні СВ відбувається втрата кисню (зниження вмісту приблизно на 2 – 3 %), менш суттєво водню (приблизно на 1 %) та азоту (на ~ 0,5 %). Втрата вмісту сірки не перевищує 0,25 %, що близько до похибки

експерименту, також зменшується і зольність на 0,5 – 2 %. В той же час вміст вуглецю суттєво зростає – з 74 до 80 %. Очевидно, що основні зміни елементного складу відбуваються за перші 5 хвилин знесолення. Втрати кисню, азоту та водню можна пояснити екстрагування при водному знесолюванні т.з. фульвокислот – водорозчинних органо-мінеральних сполук, притаманних вугіллю низького ступеню метаморфізму. Зниження вмісту загальної сірки може бути зумовлене наявністю сульфатів у складі водорозчинних мінералів СВ та їх видаленням при водному екстрагуванні. Суттєво, що в результаті цього процесу збільшується теплота згоряння вугілля. Розрахунок за формулою Менделєєва свідчить, що цей показник при знесоленні дослідженого СВ змінюється з 27,3 до 28,4 Мдж/кг.

### **Бібліографічний список**

1. Иванова А.В. Генезис и эволюция соленых углей Украины и проблемы их освоения // Дисс. на соиск. уч. степени доктора геологич. наук. – Институт геологических наук, Киев – 2016. – 336 с.
2. Кузнецов Б.Н. Катализ химических превращений угля и биомассы. Новосибирск.: Наука. – 1990. – 302 с.
3. Фатеев А.И., Романова Л.А. Влияние технологических факторов на процесс отмывки вредных примесей из соленых углей Украины // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2014. – № 3. – С. 6 – 10.

### **Changing the elemental composition of the organic mass of salty coal during water extraction**

A.I. Fateyev, N.I. Dunayevska, Ph.D. of Technical Sciences,  
T.G. Shendrik, Doctor of Sciences (Chemistry)

*The influence of water extraction on the elemental composition of the organic mass of salty coal has been determined. The reduction of the main elements (oxygen, nitrogen, hydrogen, sulfur) and ash content during by water extraction is established.*

**Keywords:** salty coal, water extraction, organic mass, elemental composition.

## **ЕНЕРГЕТИЧНЕ ПАЛИВО З ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВ**

**А. Шишкіна, М.С. Чемеринський**

*Національна металургійна академія України*

В даний час, спостерігається тенденція до вичерпання традиційних джерел енергії, які до того ж і непоновлюваними. У зв'язку з цим, останнім часом, особливо актуально постало питання про отримання енергії нетрадиційними способами з поновлюваних і екологічно чистих джерел. До таких способів можна віднести енергію сонця, геотермальну енергію, вітряну енергію, біопаливо і т.д.

Ще одним чимало важливим питанням є постійне збільшення відходів різних галузей народного господарства і життєдіяльності людини. Однак найчастіше вони можуть використовуватися в якості ефективного та екологічно чистого джерела енергії, який дозволить зберегти корисні копалини.

Таким чином, зі сказаного вище, можна зробити висновок про необхідність впровадження і розвитку енерго- та ресурсозберігаючих технологій в народному господарстві, а так само пошуком і розробкою альтернативних, відновлювальних і екологічно безпечних джерел енергії.

Для проведення досліджень і для отримання енергії з відходів виробництв, використовували відходи вугільної та харчової промисловості. Для дослідження були взяті відходи вугільної, деревної, сільськогосподарської та харчової промисловості – горіхова шкаралупа, лушпиння соняшнику, деревна стружка, кістки, відходи м'ясної промисловості, курячий послід і некондиційне вугілля. Підготовлені проби випробовувалися на показники що характеризують якість твердого палива: технічний аналіз твердого палива (вміст золи, летючих речовин, сірки і вологи), теплота згоряння (вища, нижча).

Проведені дослідження показали можливість використання відходів виробництв, у якості сировини, для отримання енергетично палива.

# ПИТОМИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР ЯК ПОКАЗНИК ГОТОВНОСТІ КОКСУ

І.В. Шульга<sup>1</sup>, В.В. Владимиренко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Державне підприємство «Український державний науково-дослідний  
вуглехімічний інститут (УХІН)»*

<sup>2</sup>*Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут»*

Необхідною умовою забезпечення високої якості коксу є його готовність, що забезпечується належним технологічним режимом коксування та в кінцевому підсумку визначається ступенем впорядкованості макромолекулярної структури коксу у вигляді графітоподібних блоків [1]. При цьому кокс набуває властивостей напівпровідника.

Вугілля є діелектриком [2] через наявність в бічних ланцюгах його макромолекули великої кількості  $\sigma$ -зв'язків, утворених вуглецем у стані  $sp^3$ -гібридації, які характеризуються значною шириною забороненої енергетичної зони (до 6 еВ) і тому електрони цих зв'язків практично не можуть потрапити до зони провідності і стати носіями електричного струму.

При коксуванні внаслідок глибокого крекінгу макромолекули практично позбавляються бічних ланцюгів і переважна частина вуглецю в кокс знаходиться у вигляді конденсованих поліароматичних структур. Для таких структур характерна  $sp$ -гібридація електронних оболонок вуглецевих атомів. При цьому половина валентних електронів беруть участь у створенні  $\pi$ -зв'язків, електронні хмари яких орієнтовані за площинами, перпендикулярними шарам конденсованих вуглецевих структур. Ці електрони мають значно меншу ширину забороненої зони, що не перевищує 2 еВ, тому вони порівняно слабо пов'язані з ядрами атомів і можуть досить легко переходити в зону провідності, стаючи таким чином носіями електричного струму.

Зі збільшенням готовності кількість електронів, здатних ставати носіями струму, збільшується, і електричний опір коксу зменшується [3] одночасно з поліпшенням комплексу його споживацьких властивостей. Тому визначений за стандартних умов [4] питомий електричний опір є об'єктивною характеристикою готовності коксу.

## Бібліографічний список

1. Филатов Ю.В., Ковалев Е.Т., Шульга И.В. и др. Теория и практика производства и применения доменного кокса улучшенного качества. – К.: Наукова думка, 2011. – 128 с.

2. Саранчук В.И., Ошовский В.В., Лавренко А.Т., Кошкарев Я.М. Метод определения величины электрического сопротивления угля в зависимости от температуры // Наук. пр. ДонНТУ. Сер.: «Хімія і хімічна технологія». В. 134. – Донецьк: ДонНТУ, 2008. – С. 138 – 143.

3. Слободской С.А. Электротермия в новых процессах углехимии: монография – Харьков: Изд-во «Підручник НТУ «ХП»», 2013. – 252 с.

4. ДСТУ 8831:2019. Кокс. Метод визначення питомого електричного опору порошку коксу кам'яновугільного. – К.: ДП УкрНДНЦ, 2019. – 18 с.

## СЕКЦІЯ П НАФТОПЕРЕРОБКА І НАФТОХІМІЯ, ХІМОТОЛОГІЯ ПАЛЬНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

УДК 665.6(567)

### ПОРІВНЯННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАФТ РОДОВИЩ НІГЕРІЇ ТА УКРАЇНИ

О.О. Бабатунде<sup>1</sup>, С.В. Бойченко<sup>1</sup>, П.І. Топільницький<sup>2</sup>, В.В. Романчук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний авіаційний університет

<sup>2</sup>Національний університет «Львівська політехніка»

*Проведено дослідження фізико-хімічних показників нігерійських нафт, їх фракційної розгонки, встановлено потенційний вихід світлих фракцій, одержані дані порівнюються з фізико-хімічними характеристиками нафт східно- та західноукраїнських родовищ. Обґрунтовується можливість переробки нігерійських нафт на ПАТ «Укртатнафта».*

**Ключові слова:** нафти Нігерії, нафтопереробка, фізико-хімічні показники нафт.

Нігерія – один з найважливіших в світі виробників легкої, низькосірчистої сирової нафти. В даний час видобуток нафти в Нігерії знаходиться на рівні 1,9 млн барелів на добу. Мета роботи: встановити можливість переробки нігерійських нафт на нафтопереробних підприємствах України шляхом порівняння фізико-хімічних показників нафт родовищ України з нафтами Нігерії. Порівнювали нафти товарних сортів Brent Dated та Bonny Light (Нігерія 1 та Нігерія 2 відповідно). Їх порівнювали з нафтами східноукраїнських та західноукраїнських родовищ, які переробляються на українських НПЗ.

В результаті досліджень встановлено, що нафта Нігерія 1 легка ( $\rho_{15}^{15} \leq 0,828$ ), нафта Нігерія 2 дещо важча  $\rho_{15}^{15} = 0,844$ , нафти містять мало сірки (0,37 і 0,18 % відповідно). У нафтах українських родовищ сірки 0,87 та 0,43 % мас. відповідно. Вміст води в нафтах Нігерії становить 0,3 % для нафти Нігерія та відсутній у нафті Нігерія 1. Це тим самим полегшує її транспортування і підготовку до переробки. Температура застигання становить -18 та 0 °С відповідно для Нігерія 1 та Нігерія 2. Виходячи з одержаних результатів атмосферної розгонки, можна стверджувати, що нафта 1 родовищ Нігерії є легкою, з початком кипіння 50 °С, нафта Нігерія 2 важча з початком кипіння 58 °С, при цьому до 180 °С нафта Нігерія 2 википає 19,5 %, а нафта Нігерія 1 – 37 %. За цими даними можна судити про потенційний вміст бензинових фракцій в нафтах. Вони практично збігаються з температурою початку кипіння нафт західних і східних родовищ України (потенційний вміст бензинових фракцій в українських нафтах 29,5 і 22 % відповідно). Потенційний вміст дизельної фракції в нафті Нігерія 1 становить  $\approx 35\%$ , в нафті Нігерія 2  $\approx 37,8\%$ . В нафтах східно- та західноукраїнських родовищ потенційний вміст дизельної фракції становить 29,5 і 32,5 % мас. Вихід фракцій реактивного

палива з нафт Нігерія 1 та Нігерія 2 становить 24,5 та 17,0 % відповідно, що суттєво більше ніж в сумішах українських нафт. Вихід широкої оливної фракції 360 – 540 °С для нігерійських нафт становить 23,6 – 29,4 %, східно- та західноукраїнських нафт – 24,5 – 31,2 % відповідно.

При вивченні металів встановлено, що кількість ванадію в досліджуваних нафти Нігерія 1 становить 0,24 ppm, Нігерія 2 – 1,28 ppm, в західноукраїнської нафти його 1,91 ppm, а в східноукраїнської майже 11 ppm. Нікелю в нафтах Нігерія 1 і Нігерія 2 становить 0,18 і 3,18 ppm відповідно, в східно-українській нафті кількість цього металу становить 10,99 ppm, в західноукраїнській – в три рази менше – 3,67 ppm. Найбільша кількість заліза знаходиться в нафті східноукраїнських родовищ (41,35 ppm), порівняно невелика його кількість в інших нафтах (2,96, 1,3 і 4,6 ppm). Лужноземельні метали містяться в нафтах в незначних кількостях.

На основі фракційного складу, вмісту сіркових сполук та сірчаноокислих смол, температури застигання, в'язкості, вмісту важких металів можна стверджувати, що нігерійські нафти Brent Dated та Bonny Light можна переробляти на ПАТ «Укртатнафта» без внесення змін в технологічні схеми та потоки. При цьому можна одержувати товарні бензини, реактивні палива, дизельні палива, базові моторні оливи, бітуми [1 – 3].

#### **Бібліографічний список**

1. Бабатунде О.О., Топільницький П.І., Романчук В.В. Фізико-хімічні властивості нафт Нігерії та шляхи їх переробки // Поступ в нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості: матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції (Львів, 14 – 18 травня 2018 р.). – Львів: Видавництво Львівської політехніки. – С. 237 – 238.

2. С.В. Бойченко, О.О. Бабатунде, П.І. Топільницький, В.В. Романчук, Л.М. Черняк. Очистка оливних дистилатів з нігерійських нафт N-метилпролідоном та одержання базових олив // Нафтогазова галузь України. – 2017. – № 1. – С. 27 – 31.

3. Топільницький П.І., Романчук В.В., Бабатунде Олаолува Олуфемі, Бойченко С.В. Встановлення можливості одержання бітумів з нігерійських нафт // Вісник Національного Університету “Львівська політехніка”. – № 868 . – 2017. – С. 141 – 146.

#### **Comparing Physico-Chemical Properties of the Oil Fields of Nigeria and Ukraine**

Olufemi Babatunde, S.V. Boichenko, Doctor of Engineering (National Aviation University) , P.I. Topilnytskyu, Ph.D. in technicalscience, V.V. Romanchuk, Ph.D. in technicalscience (Lviv Polytechnic National University)

*Physico-chemical properties of Nigerian oils, namely their fractional composition, potential yield of light fractions were investigated and compared with physico-chemical characteristics of Ukrainian crude oils. The possibility of Nigerian oils processing at JSC “Ukratnafta” was grounded.*

**Keywords:** Nigeria oil, oil refining, physical and chemical properties of oil.

**ВИЗНАЧЕННЯ ТОВАРНИХ ЯКОСТЕЙ ГАЗОВИХ КОНДЕНСАТІВ****О.В. Богоявленська, О.В. Троценко, А.А. Кулебякін****Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут»**

*Досліджено фізико-хімічні характеристики та фракційний склад газових конденсатів різних родовищ. За отриманими результатами проведено типізацію та оцінку товарних властивостей конденсатів.*

**Ключові слова:** газовий конденсат; фізико-хімічні характеристики; фракційний склад; моторні палива.

Газові конденсати є суттєвим ресурсом вуглеводневої сировини. В залежності від місця видобутку газового конденсату залежить асортимент одержуваних продуктів з певними властивостями. Проведено дослідження фізико-хімічних характеристик та фракційного складу трьох зразків газових конденсатів різних родовищ (табл. 1).

Таблиця 1

Фізико-хімічні характеристики газових конденсатів

Показники	№1	№2	№3
Густина, 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	758,0	740,6	767,5
В'язкість кінематична, мм <sup>2</sup> /с, 20 °С	1,21	0,88	1,59
Вміст: води, %; механічних домішок, %; хлористих солей, мг/дм <sup>3</sup> ; сірки, мг/кг	відсутня відсутні 62,69 90	відсутня відсутні 104,16 32	відсутня відсутні 88,99 58
Вміст: мас. % асфальтенів спирто-бензольних смол парафіну	відсутні 3,25 1,88	відсутні 0,11 1,13	відсутні 0,11 2,38

За даними фракційного складу найбільший вихід бензинової фракції (інтервал кипіння 30 – 200 °С) 98 % та 87 % отримано у зразках конденсату № 2 та № 3 відповідно. Зразок № 1 складається з 70 % легкої бензинової фракції та 30 % висококиплячих компонентів. Всі зразки є малосірчистими, однак містять від 1,13 до 2,38 % парафіну.

За отриманими результатами дослідження визначено напрямки переробки конденсатів за паливними напрямками: № 2 та № 3 – компоненти автомобільного бензину та дизельне пальне, № 1 компоненти автомобільного бензину та дизельне пальне та керосинову фракцію, яка може бути використана для отримання дизельного пального.

**Бібліографічний список**

1. Левинте, М.Е. Глубокая переработка нефти / М.Е. Левинтер, С.А. Ахметов. – М.: Химия, 1992. – 224 с.
2. Насибуллина А.И. Создание гибкой технологической схемы переработки газового конденсата / А.И. Насибуллина, А.С. Шувалов,

Х.Э. Харлампи. – Казань: Вестник Казанского технологического университета, 2011. – 89 с.

### **Gas condensates commodity quality determination**

E.V. Bogoyavlenskaya PhD in technical sciences, O.V. Trotsenko Post-graduate student, A.A. Kulebyakin student, of the Department of Technology for the processing of oil, gas and solid fuels (NTU «KhPI»)

*The gas condensates physicochemical characteristics and fractional composition of various deposits are investigated. Based on the results the condensates typing and evaluation of product properties has been carried out.*

**Keywords:** *gas condensate; physical and chemical characteristics; fractional composition; motor fuels.*

## ТЕМПЕРАТУРНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ЕФЕКТИВНОЇ В'ЯЗКОСТІ РЕЦИКЛІНГОВИХ ПЛАСТИЧНИХ МАСТИЛ

А.Б. Григоров

*Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут»*

*Визначено температурний коефіцієнт в'язкості пластичних мастил, отриманих на базі відпрацьованих змащувальних олив різного функціонального призначення. Результати досліджень показали, що у діапазоні температур від 0 °С до 40 °С, найліпші в'язкісно-температурні властивості спостерігаються у мастила на базі оливи HLP-46, найгірші – у мастила на базі оливи SAE85W-90 GL-5.*

**Ключові слова:** *пластичне мастило, базова олива, відходи, ефективна в'язкість, температура.*

Одним з перспективних напрямків розвитку у галузі отримання змащувальних матеріалів, зокрема пластичних мастил, є розширення сировинної бази технологічного процесу за рахунок використання вторинної сировини, тобто її рециклінгу, до якої відносяться різні види відходів. Використовуючи відпрацьовані моторні оливи як дисперсійне середовище, яке загущувалося подрібненими полімерними відходами, у роботі [1] було отримано пластичні мастила, які за деякими своїми характеристиками, зокрема температурою каплепадиння та пенетрацією, були подібні до мастила EXXON Estan 1,2 або SHELL Ossagl V (00). Однак для визначення температурного інтервалу експлуатації отриманого пластичного мастила, у якому воно забезпечує гідродинамічний режим тертя у вузлі, необхідно визначити змінення значення їх ефективної в'язкості в залежності від температури. Вважається, що для оптимального режиму експлуатації різних вузлів агрегатів необхідно, щоб ефективна в'язкість пластичних мастил, які у них застосовуються, плавно змінювалася в залежності від температури так, щоб мастило не викликало значні втрати енергії при підвищенні його в'язкості при зниженні температури та зберігало свої змащувальні властивості при високих температурах.

На практиці для оцінки в'язкісно-температурних властивостей пластичного мастила у певному діапазоні температур можна використовувати температурний коефіцієнт в'язкості (ТКВ), який можна визначити за формулою наступного вигляду [2]:

$$\text{ТКВ}_{\text{п-к}} = \frac{\eta_{\text{п}} - \eta_{\text{к}}}{\eta_{\text{ср}}}, \quad (1)$$

де  $\eta_{\text{п}}$ ,  $\eta_{\text{ср}}$ ,  $\eta_{\text{к}}$  - ефективна в'язкість пластичного мастила на початку, в середині та кінці обраного температурного діапазону досліджень відповідно.

Вважається, що чим нижча величина ТКВ у розглянутому діапазоні температур, тим ліпші у мастила в'язкісно-температурні властивості.

Зважаючи на це, визначимо величини ТКВ (див. табл. 1) у діапазоні від 0 °С до 40 °С для пластичних мастил, отриманих на базі відпрацьованих гідравлічної оливи HLP-46, моторної оливи SAE15W-40 API SL/CI-4 та трансмісійної оливи SAE85W-90 GL-5.

Таблиця 1

Температурний коефіцієнт в'язкості досліджуваних пластичних мастил

№ п/п	Найменування показника	Марка базової оливи		
		HLP-46	SAE15W-40 API SL/CI-4	SAE85W-90 GL-5
1	TKB <sub>0-40</sub>	2,144118	2,613971	3,918182

Отже, у розглянутому діапазоні температур найліпші в'язкісно-температурні властивості спостерігаються у мастила, отриманого на базі оливи HLP-46, найгірші у мастила на базі оливи SAE85W-90 GL-5, а мастило на базі оливи SAE15W-40 API SL/CI-4 по величині ТКВ займає проміжне значення між ними.

### Бібліографічний список

1. Andrey B. Grigorov. The prospects of obtaining plastic greases from secondary hydrocarbon raw material / Andrey B. Grigorov, Oleg I. Zelenskii, Alexey V. Sytnik // *Petroleum & Coal journal*, Volume 60, 2018, Issue 5. – pp. 879 – 883.
2. Эминов Е.А. Справочник по применению и нормам расхода смазочных материалов / Е.А. Эминов. Изд. 4-е, пер. и доп. Книга 1. М.: Химия. – 1977. – 384 с.

### Temperature coefficient of effective viscosity of recycling plastic greases

A.B. Grigorov, candidate of technical sciences, associate professor,  
(NTU "KhPI")

*The temperature coefficient of viscosity of plastic greases obtained on the basis of spent lubricating oils of various functional purposes is determined. The results of studies have shown that in the temperature range from 0 °C to 40 °C, the best viscosity-temperature properties are observed in lubricants based on HLP-46 oils, the worst ones in lubricants based on SAE85W-90 GL-5 oils.*

**Keywords:** plastic lubricant, base oil, waste, effective viscosity, temperature.

# ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАФТИ ТА НАФТОПРОДУКТІВ МЕТОДОМ РОТАЦІЙНОЇ ВІСКОЗИМЕТРІЇ

Д.В. Демідов<sup>1</sup>, Л.В. Саєнко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*

<sup>2</sup>*Харківський національний університет будівництва та архітектури*

*Представлено результати експериментів по визначенню особливостей реологічних властивостей нафти та нафтопродуктів за допомогою ротаційного віскозиметра. Наведено методики визначення в'язко-пружних і тиксотропних властивостей. Отримані результати реологічних властивостей нафти та нафтопродуктів методом ротаційної віскозиметрії свідчать про те, що нафта являє собою складну реологічну систему, що має тиксотропні та в'язко-пружні властивості.*

**Ключові слова:** нафта, в'язкість, тиксотропія, ротаційний віскозиметр.

Для високов'язкої нафти та нафтопродуктів відсутня пропорційність між напругою зсуву та ефективним градієнтом напруги на зріз. В'язкість більше не є константою пропорційності, а сама є функцією напруги зсуву відносно градієнта напруги на зріз. Тому така нафта належить до «неньютонівських рідин» через її плинність, що відрізняється від Ньютонівського закону. Для опису властивостей неньютонівських рідин застосовують поняття ефективної в'язкості. Ефективна в'язкість є деяка умовна характеристика, яка визначається як відношення напруги зсуву до швидкості зсуву. Цей параметр широко використовується в реології і дозволяє розглядати неньютонівські рідини як системи зі змінною в'язкістю, що залежить від швидкості (напруги) зсуву. Така залежність в'язкості від швидкості зсуву носить назву – аномалія в'язкості [1 – 3].

Рідини, для яких при постійній швидкості зсуву напруга зсуву і ефективна в'язкість зменшуються протягом часу, що пов'язано з поступовим руйнуванням просторової структури, називають тиксотропними. Тобто, в'язкість зменшується залежно від тривалості дії напруги на зріз, а після відповідного часу заспокоєння (напруга на зріз дорівнює 0) відновлюється в'язкість, що була до зрізу.

Для встановлення того факту, що зразки нафти та нафтопродуктів, які досліджувались, мають тиксотропні властивості, реологічні криві течії були виміряні при прямому і зворотному ході, тобто по наростанню і падінню напруги зсуву відповідно, незалежно від того, чи відбувалося під дією навантаження оборотні або необоротні зміни в системі.

В результаті проведених досліджень були отримані характерні петлі гістерезису. Той факт, що лінія прямого ходу не повторює лінію зворотного ходу, підтверджує утворення в нафті тиксотропної структури. Площа петлі гістерезису, укладена в межах єдиного циклу вимірювань, характеризує

величину механічної енергії тиксотропних зв'язків, віднесену до одиниці об'єму нафти.

У практичній реометрії представлені характеристики плинності у більшості випадків зустрічаються не самі по собі, а в комбінованому вигляді. В такому випадку дослідження зразків нафти та нафтопродуктів здійснюється шляхом запису гістерезисної кривої плинності.

Отримані результати в'язкісних властивостей нафти та нафтопродуктів методом ротаційної віскозиметрії свідчать про те, що нафта являє собою складну реологічну систему, що має тиксотропні та в'язко-пружні властивості.

### **Бібліографічний список**

1. Никитин М.Н. Изучение реологических свойств тяжелой высоковязкой нефти Ярегского месторождения / М.Н. Никитин, П.Д. Гладков, А.В. Колонских, А.В. Петухов, А.И. Мехеев // Записки Горного института. – 2012. – Т. 195. – С. 73 – 77.

2. Борисов Д. Н. Синтез аммониевых соединений на основе децена-1 и их влияние на вязкость высокопарафинистой нефти / Д.Н. Борисов, П.С. Фахретдинов, Г.В. Романов // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». – 2007. – № 2. – С. 3 – 10.

3. Урьев Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных материалов. – М.: Химия, 1988. – 340 с.

### **Features of determination of rheological properties of oil and petroleum products method of rotational viscometry**

D.V. Demidov, assistant, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», L.V. Saienko, PhD in technical sciences, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture

*The results of experiments on the determination of the peculiarities of the rheological properties of oil and petroleum products by means of a rotary viscometer are presented. The methods of determination of viscoelastic and thixotropic properties are given. The obtained results show that oil is a complex reological system with thixotropic and visco-elastic properties.*

**Keywords:** oil, viscosity, thixotropy, rotary viscometer.

## ЗАСТОСУВАННЯ ФЕНОЛО-КРЕЗОЛО-ФОРМАЛЬДЕГІДНОЇ СМОЛИ В ЯКОСТІ АДГЕЗІЙНОЇ ДОБАВКИ ДО АСФАЛЬТОБЕТОНІВ

Ю.Я. Демчук, В.М. Гунька, С.В. Пиш'єв, Ю.В. Сідун

*Національний університет «Львівська політехніка»*

*Порівняно фізико-механічні властивості асфальтобетонів, отриманих з використанням окисненого і модифікованого феноло-крезоло-формальдегідною смолою бітумів. Показано переваги застосування модифікованого бітуму над окисненим.*

**Ключові слова:** модифіковані бітуми, адгезійні добавки, асфальтобетони.

Сьогодні традиційні асфальтобетони не спроможні забезпечити в умовах інтенсивного руху автотранспорту необхідні фізико-механічні властивості дорожніх покриттів та їх довговічність. Бітуми мають погану зчеплюваність (адгезію) з більшістю кам'яних матеріалів, що використовуються в дорожньому будівництві. Це є причиною різкого падіння водостійкості асфальтобетону, утворення на покриттях пошкоджень. Тому для покращення зчеплюваності бітуму з кам'яними матеріалами та підвищення водостійкості дорожніх покриттів у в'язуче вводять адгезійні добавки.

Попередні дослідження [1] показали, що додавання феноло-крезоло-формальдегідної смоли (ФіКС-Ф) до нафтових дорожніх бітумів суттєво збільшує такі показники, як адгезію до поверхні скла та щебеню. Також забезпечує повний, незворотний та водостійкий зв'язок між бітумним в'язучим та кам'яним матеріалом.

Тому метою даної роботи було встановлення впливу модифікованого ФіКС-Ф бітуму на фізико-механічні показники асфальтобетону.

Одержаною смолою модифікували окиснений нафтовий бітум БНД 60/90 у кількості 1,0 % від маси бітуму за температури 190 °С. Далі за допомогою гранулометричних кривих щільних непереривчастих сумішей було підбрано зерновий скелет асфальтобетонної суміші. Асфальтобетонну суміш проектували виходячи з наступних характеристик: асфальтобетон гарячий дрібнозернистий щільний із залишковою пористістю від 2 % до 5 %, з кількістю зерен більше ніж 5 мм – 45-55 % та максимальним розміром зерен до 20 мм. Фізико-механічні властивості виготовлених асфальтобетонів наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості асфальтобетонів з використанням БНД 60/90 та БНД 60/90 + ФіКС-Ф

Зразки асфальтобетонів на бітумах	Середня густина, г/см <sup>3</sup>	Водонасичення, % за об'ємом	Границі міцності при стиску, МПа		Коефіцієнт довготривалої водостійкості	
			за 20 °С	за 50 °С	після 15 діб	після 30 діб
БНД 60/90	2,36	1,0	3,8	1,5	0,95	0,97
БНД 60/90 + ФіКС-Ф	2,35	0,5	4,8	1,6	0,97	0,98

На основі даних табл. 1 можна стверджувати, що введення ФіКС-Ф в кількості 1 % мас. до бітуму знижує показник водонасичення в два рази та збільшує коефіцієнт довготривалої водостійкості асфальтобетону після 15 та 30 діб. Окрім цього, асфальтобетону з ФіКС-Ф характерні вищі показники границі міцності при стиску за температури 20 °С та 50 °С, оскільки адгезійна здатність бітуму до мінерального матеріалу є вищою і відповідно водопроникність знижується, а когезійна міцність суміші зростає. Завдяки вищій температурі розм'якшеності бітуму з ФіКС-Ф покращується теплостійкість асфальтобетону (границя міцності при стиску за 50 °С).

### **Бібліографічний список**

1. Demchuk, Y., Sidun, I., Gunka, V., Pyshyev, S., Solodkyu, S. (2018) Effect of phenol-cresol-formaldehyde resin on adhesive and physico-mechanical properties of road bitumen. *Chemistry and Chemical Technology*, 12 (4), 456.

### **Application of phenol-cresol-formaldehyde resin as an adhesive additive to asphalt concrete**

Yu.Ya. Demchuk, postgraduate, V.M. Gunka, PhD of Technical Sciences, S.V. Pyshyev, Doctor of Technical Sciences, Iu.V. Sidun, PhD of Technical Sciences (Lviv Polytechnic National University)

*Comparative physico-mechanical properties of asphalt concrete, obtained using oxidized and modified phenol-cresol-formaldehyde resin of bitumen. The advantages of modified bitumen over oxidized are shown.*

**Keywords:** *modified bitumen, adhesion promoter, asphalt concrete.*

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФАЗНОГО СТАНУ НАФТОВИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

К.О. Замікула, О.О. Тертишний, О.В. Тертишна

*Державний вищий навчальний заклад «Український державний  
хіміко-технологічний університет»*

Створено програмний продукт для розрахунку частки твердої фази у нафтових дисперсних системах залежно від температури та додавання депресорної присадки. В основі алгоритму моделювання процесу – термодинамічні рівняння стану, що описують параметри формування твердої фази з високомолекулярних компонентів нафти. Експериментально підтверджено роботу моделі.

**Ключові слова:** нафтові дисперсні системи, мазут, депресорна присадка, математичне моделювання.

На основі термодинамічних рівнянь Петерсена, Вона, Чанга та Ніссена-Брауна [1] створено математичну модель, яка описує зміну фазового складу нафтових дисперсних систем в залежності від температури та дозволяє прогнозувати значення низькотемпературних характеристик при додаванні депресорних присадок визначеного складу.

Вихідними даними для створення математичної моделі обрано фракційний склад мазуту з наступним розрахунком констант фазної рівноваги системи «рідина-тверде тіло» (мазут-твердий парафін) для кожного компонента суміші.

За допомогою створеного програмного продукту розраховані температури застигання мазуту в чистому вигляді та мазуту з додаванням синтезованої присадки рослинного походження в кількості 0,1, 0,3 та 0,5 % мас. Фазова діаграма мазуту та мазуту з додаванням 0,3 % присадки наведена на рис. 1.

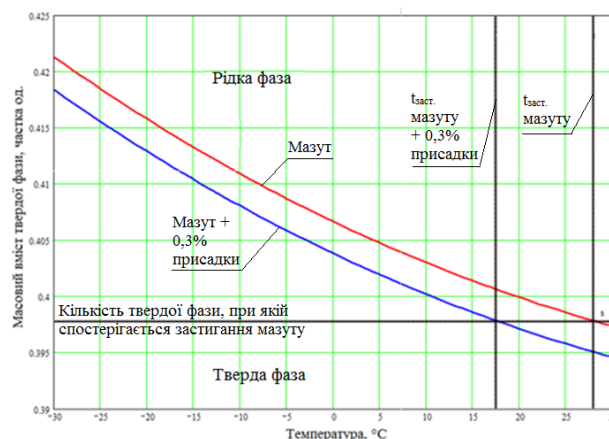


Рис. 1 – Фазова діаграма мазуту та мазуту з додаванням присадки

Для практичної перевірки результатів роботи програмного продукту проведено визначення температури застигання кожного зразка суміші мазуту з присадкою.

Порівняння результатів експерименту та моделі наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика дослідних зразків мазуту з присадкою

Зразок	Температура застигання, °C		В'язкість умовна за температури 80°C	Температура спалаху у відкритому тиглі, °C
	Модель	Експеримент		
Мазут +0,1% мас. присадки	+21	+19	1,9	137
Мазут +0,3% мас. присадки	+17	+16	1,86	136
Мазут +0,5% мас. присадки	+19	+18	1,81	124
Мазут (контрольний зразок)	-	+28	2,21	155
Мазут М100, ДСТУ 4058-2001	Не вище +25		Не більше 16,0	Не нижче 110

### Бібліографічний список

1. Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа / А.И. Брусиловский. – М.: «Грааль», 2002, 575 с.

#### **Mathematical modeling of the phase state of the petroleum disperse systems**

К.О. Zamikula, post-graduated student, О.А. Tertyshnyi, PhD in technical sciences, О.В. Tertyshna, PhD in technical sciences  
(Ukrainian State University of Chemical Technology)

*There was created a software product for calculating the solid phase fraction in petroleum disperse systems, depending on the temperature and the addition of a depressor additive. In the base of the process simulation algorithm are thermodynamic state equations describing the parameters of solid phase formation with high molecular weight oil components. The work of the model was verified experimentally.*

**Keywords:** petroleum disperse systems, fuel oil, depressor additive, mathematical modeling.

**ОТРИМАННЯ БІТУМІВ З НАФТОВИХ ШЛАМІВ****О.О. Мардупенко, О.В. Троценко***Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»*

*Розглядається одержання бітуму з нафтошлямових залишків в лабораторних умовах. Отриманий дослідний зразок бітумної композиції та досліджені де які його фізико-хімічні властивості.*

*Ключові слова: нафтовий шлам, полімер, композиція, бітум, температура розмягчення.*

Основною сировиною для виробництва окислених бітумів є нафта, залишок вакуумної перегонки нафти – гудрони, напівгудрони, смоли, а також побічні продукти виробництва – асфальтити, деасфальтити, залишки крекінгу.

До числа основних експлуатаційних недоліків застосування бітумних в'язучих крім високої собівартості, та деякій схильності до розшарування у експлуатаційний період варто віднести також використання у якості основи окислених бітумів, що збільшує собівартість в'язучих та знижує їх якість [1].

Однією з перспективних шляхів переробки нафтошлямів є їх використання в якості сировини для отримання товарних продуктів. Використання нафтових відходів у якості сировини для отримання окислених бітумів має поряд з практичною значимістю ще й важливість з точки зору охорони навколишнього середовища.

Була запропонована технологія окислення нафтового залишку, зокрема нафтового шламу, для отримання бітуму, яка дозволяє скоротити кількість технологічного обладнання та матеріальні затрати для реалізації.

У лабораторних умовах були отримані бітуми, показники якості яких порівнювались з окисленим бітумом марки БНД-40/60.

Показники якості отриманих бітумів

№	Найменування показника	БНД-40/60	Отримана проба
1.	Глибина проникнення голки, мм <sup>-1</sup> при 25 °С	40-60	40
2.	Температура розм'якшення по К і Ш, °С	51	56
3.	Температура спалаху у відкритому тиглі, °С	230	230
4.	Температура крихкості, °С	-12	-21
5.	Зміна маси після прогріву, %	1,0	1,0
6.	Адгезійні властивості, «активне» зчеплення з мармуром та піском за контрольним зразком № 1	Витримує	

Одержаний бітум за основними показниками якості відповідає вимогам до дорожнього бітуму БНД 40/60 за ДСТУ 4044-2001. Запропонований спосіб отримання бітумів на основі нафтових відходів, зокрема нафтошлямів, показав принципову можливість отримання нафтових дорожніх бітумів, стійких до старіння, з хорошими адгезійними і морозостійкими властивостями.

### **Бібліографічний список**

1. Братичак М.М. Нафтова і газова промисловість України – проблеми і перспективи / М.М. Братичак, П.І. Топільницький // Проблеми хімотології: IV Міжн. наук.-техн. конф., 24–28 верес. 2012 р.: матеріали конф. – Крим, Рибаче, 2012. – С. 23.

#### **Obtaining polymer-containing bitumen**

Mardupenko Olexii Post-graduate student, O.V. Trotsenko Post-graduate student, of the Department of Technology for the processing of oil, gas and solid fuels, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”

*Consideration is given to the production of bitumen from oil shale residues in laboratory conditions. An experimental sample of bitumen composition has been obtained and some of its physical and chemical properties have been investigated.*

**Keywords:** *oil sludge, polymer, composition, bitumen, softening temperature.*

## ЕКСПРЕС-МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ НАФТИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ

Набіль Сатер, А.Б. Григоров, А.Г. Тульська, А.В. Чернявський  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний  
інститут»

Запропоновано експрес-метод визначення підготовленості нафти до її переробки, по величині параметру діелектричної проникності. Впровадження цього методу у нафтопереробній промисловості дозволить, спростити процедуру, скоротити час та зменшити витрати на проведення аналізу.

**Ключові слова:** діелектрична проникність; нафта; показник підготовленості; вода; механічні домішки.

Нафта, яка подається до НПЗ, у своєму складі містить домішки (високо мінералізовану пластову воду та механічні домішки), які ускладнюють, а в деяких випадках, просто унеможливають процес її переробки, зумовлюючи корозійні процеси технологічного обладнання, що приводить до значного зменшення строків між ремонтної експлуатації, та погіршення якості отриманих продуктів [1]. Тому, у технологічній схемі первинної переробки нафти на НПЗ, передбачена ділянка зневоднення та знесолення нафти. Отже, для оцінювання ступеня підготовленості нафти, після цієї ділянки, можна ввести поняття показник підготовленості нафти (ППН), який можна представити у наступному вигляді:

$$\text{ППН} = \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

де  $n$  – кількість показників якості нафти;  $x_i$  – значення  $i$ -го показника якості.

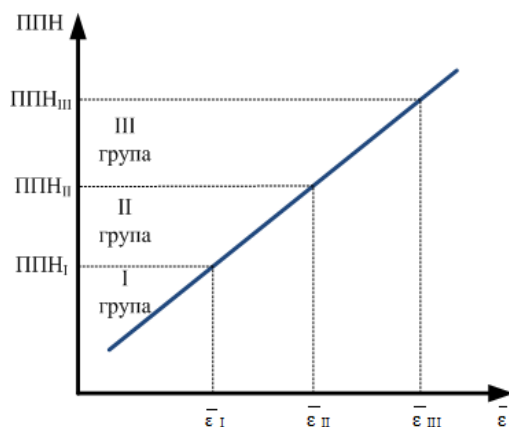


Рис. 1. Залежність ППН від середнього значення величини  $\epsilon$

По ступеню підготовленості нафти, що подається на переробку, в залежності від значень, таких стандартизованих показники, як масова доля води, механічних домішок та концентрація хлористих солей, її поділяють на три групи (I, II, III). Відомо, що нафта, відноситься до неполярних діелектриків, електричні властивості, якої можуть бути виражені її відносною діелектричною проникністю ( $\epsilon$ ). Наявність у нафті, пластової води з розчиненими у ній солями та механічні домішки, сприяє збільшенню величини  $\epsilon$  [2],

що дозволяє використовувати цей параметр для визначення ППН, замість стандартизованих показників. На практиці, для реалізації запропонованого

методу визначення ППН з певною величиною похибки, можна використовувати залежність, наведену на рис. 1. У загальному випадку, приймаємо, що залежність ППН від середнього значення  $\bar{\varepsilon}$ , для зручності, можна представити у вигляді лінійної функції. Далі, спираючись на стандартизовані показники якості нафти, необхідно визначити середні значення  $\bar{\varepsilon}_I$ ,  $\bar{\varepsilon}_{II}$ ,  $\bar{\varepsilon}_{III}$  для кожної групи нафти, у відповідності, до яких розрахувати значення ППН<sub>I</sub>-ППН<sub>III</sub>. Використання цього методу дозволить, значно спростити процедуру та скоротити час визначення підготовленості нафти до її переробки та може стати першим кроком, на шляху впровадження системи оперативного контролю технологічного процесу.

### Бібліографічний список

1. Лебедьков А.Е. Справочник инженера по подготовке нефти / А.Е. Лебедьков, А.В. Кан, А.Е. Андреев, Л.В. Лушникова. Нефтеюганск. – 2007. – 299 с.
2. Сураев С.В. Определение содержания воды и металлосодержащих микроэлементов в нефти в потоке трубопровода / С. В. Сураев, В. Н. Астапов // Вестник Самарского гос. ун-та. Серия техн. науки. – 2011.– № 1 (29). – Т. 1. – С. 233 – 242.

### Express-method of determining the preparedness of oil for technological processing

Nabil Sater, post graduate student, A.B. Grigorov, candidate of technical sciences, associate professor, A.G. Tulskeya, A.V., candidate of technical sciences Cherniavsky, post graduate student (NTU "KhPI")

*An express method for determining the preparedness of oil before its processing, by the magnitude of the dielectric permittivity parameter, is proposed. Implementation of this method in the oil refining industry will simplify the procedure, reduce time and reduce the cost of conducting the analysis.*

**Keywords:** *dielectric permeability, oil, indicator of preparedness, water, mechanical impurities.*

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ВАЖКИХ НАФТ УКРАЇНСЬКИХ РОДОВИЩ

П.І. Топільницький, В.В. Романчук, Т.В. Ярмола  
Національний університет «Львівська політехніка»

Проведено дослідження властивостей важких нафт Яблунівського родовища. Встановлено, що нафти мають аномально високу кінематичну в'язкість, не містять світлих дистилатів, характеризуються високою температурою застигання, містять велику кількість металів, відносяться до ванадієвого типу. В зв'язку з цим запропоновано схему переробки даної нафти з одержанням товарного дизельного палива та бітуму.

**Ключові слова:** переробка важкої нафти, фізико-хімічні властивості нафт, реологічні властивості нафт.

Проведення досліджень з метою визначення напрямків переробки важкої вуглеводневої сировини та товарної продукції дозволить раціонально та обґрунтовано розробити комплекс заходів по нарощуванню видобутку даної сировини на родовищі. Виконано детальне дослідження високов'язких нафт зі свердловин №№ 88, 94, 337 Яблунівського родовища. При узагальненні результатів виявлено наступне: досліджувані нафти мають високу густину ( $> 950 \text{ кг/м}^3$ ); в них відсутні бензинові фракції, а початок кипіння становить 498 – 503 К, вміст фракцій дизельного палива становить всього 20 %; вміст сірки в нафтах є високим і становить близько 3 %, що може викликати корозію обладнання [1]; в нафтах присутня велика кількість металів, всі нафти є ванадієвого типу; характеризуються високою температурою застигання 282 – 317 К, оскільки містять велику кількість смолистоасфальтенових вуглеводнів, відповідно такі нафти надзвичайно складно зневоднити [2]. Досліджені зразки мають аномально високу кінематичну в'язкість – при 20 °С св.. 88 –  $2120 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , св.. 337 –  $1123 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , при 50 °С св.. 94 –  $4861 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Показники динамічної в'язкості при температурах від 293 до 343 К при швидкості зсуву  $21 \text{ сек}^{-1}$  представлено на рис. 1.

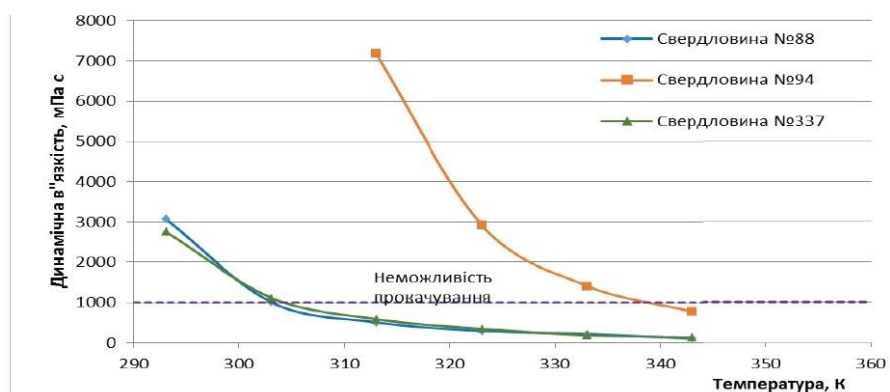


Рис. 1 – Зміна динамічної в'язкості нафт Яблунівського родовища при температурах від 293 до 343 К при швидкості зсуву  $21 \text{ сек}^{-1}$

З графіка видно, що при температурах нижчих за 303 К нафти св.. № 88 та 337 неможливо перекачувати, нафту св.. 94 неможливо перекачувати при температурах нижчих від 338 К.

Запропоновано такі технологічні рішення щодо подальшої переробки важких високосірчистих нафт: видобуток, зневоднення, первинна переробка таких нафт можливі тільки при розведенні їх газовим конденсатом або прямогонними легкими фракціями. Оскільки в нафтах відсутні газ, бензинові фракції та невисокий вихід дизельних фракцій, в результаті атмосферної перегонки одержуються тільки дизельна фракція та мазут з високою температурою застигання. Фракція дизельного палива може слугувати сировиною установки піролізу для одержання етилену та пропілену або направлятися на установку гідроочистки, в результаті одержується товарне дизельне паливо. Мазут направляється на бітумну установку, в результаті одержується товарний бітум. Оскільки в мазуті містяться значна кількість сіркових сполук, бітум з такої нафти буде мати високі адгезійні властивості. Загальна схема переробки вимагає більш детальної наукової проробки.

#### **Бібліографічний список**

1. Topilnytskyy P., Romanchuk V., Yarmola T. Production of corrosion inhibitors for oil refining equipment using natural components // Chemistry & Chemical Technology. – 2018. – Vol. 12, № 3. – P. 400 – 404. DOI: 10.23939/chcht12.03.400
2. P. Topilnytskyy, V. Romanchuk, S. Boichenko, Y. Golych Physico-chemical properties and efficiency of demulsifiers based on block copolymers of ethylene and propylene oxides // Chemistry & Chemical Technology. – 2014. – Vol. 8, – № 2. – P. 211 – 218. DOI: 10.23939/chcht08.02.211

#### **Features of the technology of processing heavy oil of Ukrainian deposits**

P.I. Topilnytskyy, Ph.D. in technical science, V.V. Romanchuk, Ph.D. in technical science, T.V. Yarmola (Lviv Polytechnic National University)

*The study of Yablunivsky deposit high-viscosity oil properties is carried out. The research results show that oil of the Yablunivsky deposit has anomalously high kinematic viscosity. This oil is heavy, without light distillates, and is characterized by high freezing point; it contains a large amount of metals, and belongs to the vanadium type. A scheme for the processing of this oil has been proposed for the production of commercial diesel fuel and bitumen.*

**Keywords:** *heavy oil processing, physical and chemical properties of oil, rheological properties of oil.*

## ВЛАСТИВОСТІ МЕТИЛОВИХ ЕСТЕРІВ ЖИРНИХ КИСЛОТ ОДЕРЖАНИХ КАВІТАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

**О.Б. Шевченко, В.В. Ведь, Д.В. Попитайленко, В.М. Каменєва**  
*Державний вищий навчальний заклад «Український державний  
хіміко-технологічний університет»*

*Проведено гідравлічні розрахунки кавітатора та обґрунтована його конструкція. Запропонована технологічна схема отримання біодизельного палива кавітаційним методом реалізована на лабораторній установці. Одержані зразки метилових естерів жирних кислот з соняшnikової олії. Визначені їх фізико-хімічні показники*

**Ключові слова:** метилові естери жирних кислот, кавітатор, соняшnikова олія.

Метилові естери рослинних олій мають ряд переваг серед поновлюваних альтернативних варіантів моторного палива.

Актуально отримання метилових естерів жирних кислот (МЕЖК) з сировини нехарчового призначення. До таких відноситься: неїстівна рослинна олія, (лляна, бавовняна, з ятрофи, технічні соєва та соняшnikова), відпрацьована олія, соапсток, фуз (осад рослинних олій), технічні курячий та рибу'ячий жири, відпрацьований фільтрувальний порошок, який містить олію. Перевагами такої переробки є широкий асортимент доступної сировини, зростання нехарчових олійних культур призводить до зниження концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері. Крім того, використання економічно ефективних нехарчових олій може стати способом поліпшення економіки виробництва біодизеля і його комерційного виробництва в промислових масштабах [1].

Виробництво МЕЖК в потоці в кавітаційних реакторах відрізняється від інших високою продуктивністю. Однак при цьому може знижуватися якість біодизелю, оскільки ті частки секунди, протягом яких відбувається перемішування реагентів, не завжди забезпечують утворення якісного біодизеля.

Проведені гідравлічні розрахунки кавітатора та обґрунтована його конструкція.

На лабораторній установці за запропонованою технологічною схемою кавітаційним методом переетерифікацією метанолом на лужному катализаторі отримано МЕЖК з технічної соняшnikової олії. Визначені жирнокислотний склад та фізико-хімічні показники –в'язкість, межі википання, густина, температура застигання.

У табл. 1 наведений жирнокислотний склад МЕЖК соняшnikової олії.

Таблиця 1

Жирнокислотний склад МЕЖК соняшnikової олії

Назва кислоти	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	C22:0
Вміст, %	-	5,8	0,2	3,4	69,2	19,6	0,5	0,5	0,4

У табл. 2 наведені фізико-хімічні показники МЕЖК соняшникової олії.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники МЕЖК соняшникової олії

№	Показники	Значення
1	Густина при 15 °С, кг/м <sup>3</sup> , в межах	865
2	Кінематична в'язкість при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с, в межах	4,5
3	Температура застигання, °С	-1
4	Межі википання, °С	210-360

### Бібліографічний список

1. M. M. K. Bhuiya, M. G. Rasul , M. M. K. Khan , N. Ashwath , A. K. Azad, M. A. Hazrat, Second Generation Biodiesel: Potential Alternative to Edible Oil-Derived Biodiesel, Energy Procedia 61 (2014).

### Properties of methyl esters of fatty acids obtained by the cavitation method

E.B. Shevchenko, PhD in technical sciences, V.V. Ved, D.V. Popuyaylenko,  
V.M. Kamenieva (SHEI "USUCT")

*Hydraulic calculations of the cavitator were carried out and its design was justified. Technological scheme for the production of biodiesel by cavitation method in the laboratory has been proposed. Samples of fatty acid methyl esters from sunflower oil were obtained. Physico-chemical characteristics of the samples were determined.*

**Keywords:** *methyl esters of fatty acids, cavitators, sunflower oil.*

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**Кафедра технології переробки нафти, газу  
та твердого палива**

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ  
ПАЛЬНИХ КОПАЛИН**

**Тези доповідей  
II МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ**

Укладач

Мірошніченко Д.В.

Відповідальний секретар

Білець Д.Ю.

Технічний редактор

Шумейко В.М.