

2. Gutierrez, Sally Multipollutant Emission Control Technology Options for Coal Fired Power Plants [Text] / Sally Gutierrez. – National Risk Management Research Laboratory. Springfield, Virginia, USA, 2005. – P. 48–97.
3. Fay, Martin Michael Schmidt High Slope Metrology with Non-Contact Interferometry [Text]: phNate Gilfoy PhD / Martin Fay. – Quality Magazine, July 1st, 2014. – P. 37–49.
4. Свешников, А. А. Прикладные методы теорий случайных функций [Текст] / А. А. Свешников. – М.: Наука, 2009. – 464 с.
5. Богданович, И. Автоматизированные системы контроля и учета выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферу [Текст] / И. Богданович // Энергетика и ТЭК. – 2010. – № 2. – С. 14–18.
6. Шахтарин, Б. И. Случайные процессы в радиотехнике Т.1 Линейные преобразования [Текст] / Б. И. Шахтарин. – Гор. Линия-Телеком, 2010. – 520 с.
7. Любимова, Н. А. Информационное обеспечение систем технического контроля процесса воздухоочистки промышленных предприятий [Текст] : сб. науч. тр. 2 Междунар. Н.-т. конф. / Н. А. Любимова // Информационно-измерительные диагностические и управляющие системы. Диагностика - 2011». – Юго-Западный Гос. У-т. Курск. Россия, 2011. – С. 188–193.
8. Любимова, Н. А. Функциональный контроль экологических объектов [Текст] : монография / Н. А. Любимова. – Харьков: изд. ХНАУ ім. В. В. Докучаєва, 2012. – 228 с.
9. Klein, Maury The Power Makers: Steam, Electricity, and the Men Who Invented Modern America [Text] / Maury Klein. – Bloomsbury Publishing USA, 2009.
10. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1978. – 832 с.

*Розроблено технологію синтезу аніоноактивних поверхнево – активних речовин методом сульфурвання фракції піроконденсату з температурою кипіння вище 350 °С та вмістом ароматичних вуглеводнів >50 %, що отримують (піроконденсат) методом термічної переробки відпрацьованих шин транспортних засобів. Досліджено закономірності та ефективність застосування отриманого продукту для очищення нафто-забруднених ґрунтів*

*Ключові слова: відпрацьовані шини, піроліз, піроконденсат, сульфурвання, поверхнево-активні речовини*

*Разработана технология синтеза анионоактивных поверхностно - активных веществ методом сульфирования фракции пироконденсата с температурой кипения выше 350 °С и содержанием ароматических углеводородов >50 %, который получают (пироконденсат) в процессе термической переработки изношенных шин транспортных средств. Исследованы закономерности и эффективность применения полученного продукта для очистки нефте-загрязненных почв*

*Ключевые слова: отработанные шины, пиролиз, пироконденсат, сульфирование, поверхностно-активные вещества*

УДК 504.064.45:66.094.524.5

## ОТРИМАННЯ ПОВЕРХНЕВО- АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА ОСНОВІ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ

**Ю. С. Нікітченко**

Здобувач  
Інститут екологічної безпеки  
Національний авіаційний університет  
пр. Космонавта Комарова, 1,  
м. Київ, Україна, 03022  
E-mail: julia\_n\_s@ukr.net

### 1. Вступ

Зростання світового виробництва поверхнево-активних речовин (ПАР) обумовлено зростаючим попитом на продукцію даного сегменту, яка широко використовується майже в усіх галузях промисловості. До 50 % синтезованих ПАР витрачається на виготовлення побутової хімії (переважно мийні та очисні засоби), при цьому не менш значущими споживачами є нафтохімічна, легка та харчова галузі промисловості,

будівництво. Нині у світі існує велика кількість різноманітних ПАР, загальний обсяг виробництва яких у 2012 році становив 15 млн. т. [1]. За прогнозами спеціалістів, протягом наступного десятиліття обсяги виробництва цих реагентів зростатимуть щонайменше на 6,1 % щороку [2].

Масштаби виробництва будь-якого типу ПАР залежать від декількох чинників, серед яких, окрім фізико-хімічних властивостей, не менш значущими є вартість сировинних матеріалів, наявність й доступ-

ність джерел сировини, екологічна безпека. До середини 60-х років минулого століття для синтезу ПАР використовували переважно сировину олеохімічного походження. Та з початком інтенсивного розвитку нафтопереробної та нафтохімічної галузей, роль натуральної сировини істотно знизилася, поступаючись вуглеводневій [3]. ПАР на основі нафтохімічних продуктів, що тривалий час були дешевою та легкодоступною сировиною, також знайшли широке практичне застосування.

Сьогодні отримувати як олеохімічну, так і нафтохімічну сировину стає все складніше. Нинішній період розвитку цієї галузі вважається достатньо складним й суперечливим через високі ціни на сировинні матеріали й нестабільність світових ринків сировини, а також посилення уваги світової спільноти до проблем охорони навколишнього природного середовища та раціонального природокористування. Враховуючи прогнозований річний темп зростання обсягів виробництва ПАР, забезпечувати цю галузь сировиною ставатиме складніше з кожним роком. Тому для задоволення постійно зростаючого попиту на поверхнево – активні речовини важливою науково – практичною задачею є пошук доступних та комерційно привабливих джерел сировини, використання яких дозволить ліквідувати дефіцит реагентів для виробництва ПАР.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Вибір сировини для виготовлення ПАР залежить, головною мірою, від сфери застосування цих реагентів. Згідно класифікації, прийнятої на III Міжнародному конгресі по ПАР у 1960 році, ПАРи поділяються на чотири основні класи залежно від полярних компонентів: аніоноактивні, катіоноактивні, неіоногенні та амфотерні [4]. Майже дві третини ПАР, що продукуються у світі, є аніоноактивними, серед яких найбільш затребувані алкілбензолсульфонати (становлять приблизно 2/3 загального випуску аніоноактивних ПАР). Отримують алкілбензолсульфонати, як і більшість аніоноактивних ПАР, методом сульфонування алкілбензолів, олефінів та інших вуглеводнів сірчаною кислотою, олеумом з наступною нейтралізацією продуктів розчинами лугів.

Найбільш перспективним джерелом вторинної сировини є відходи споживання та виробництва. Кількість відходів з кожним роком зростає у геометричній прогресії, при цьому ресурсо-орієнтоване поводження з відходами сприятиме підвищенню екологічної безпеки, збереженню та відтворенню навколишнього природного середовища, раціональному використанню природних й техногенних ресурсів [5].

Виходячи з того, що основною сировиною для виробництва аніоноактивних ПАР є вуглеводнева сировина, то з метою пошуку нових альтернативних джерел сировини доцільно розглядати відходи промисловості й споживання, що містять вуглеводні.

Вагомий внесок у дослідження питань пошуку й застосування альтернативних джерел сировини для синтезу поверхнево – активних речовин, зокрема на основі продуктів утилізації/переробки відходів, зробили такі вчені й дослідники як Бабаєв В. І., Коро-

льов І. В., Гридчин А. М., В. І. Шухов, Шеремета Ю. Б., Матолич Р. М., Катренко Л. А., Герій А. М., Квітковський Л. М., Волянський Ф. В. та багато інших.

Одним із найбільш дешевих видів сировини для отримання аніонних ПАР є кислі гудрони – відходи процесу сірчаноокислотного очищення деяких нафтопродуктів. Відомо спосіб [6] отримання поверхнево – активних речовин на основі кислих гудронів, за яким їх (кислі гудрони) обробляють оксиетильованими алкілфенолами. Отримані сульфонати можуть бути використані в якості технічних поверхнево – активних речовин, наприклад, як піноутворювачі, флоатагенти чи при заводненні пластів для підвищення нафтовидобутку. Проте оксиетильовані алкілфеноли є дефіцитною та дороговартісною сировиною, тому економічна ефективність досить низька. Нині розроблено низку різних методів й підходів утилізації кислих гудронів з отриманням ПАР, а також інших продуктів, наприклад, такі методи як [7, 8], більшість з яких знаходять практичне застосування.

За іншою технологією [9] пропонується сульфувати газойль з молекулярною масою 250–700 та вмістом ароматичних вуглеводнів більше 30 % у рідкому дихлоретилені з рециркуляцією. Газойль – залишок первинної переробки нафти на вакуумних колонах, який також може виступати як перспективна сировина для синтезу аніонних ПАР.

Також відомо спосіб отримання аніонних ПАР на основі побічного продукту виробництва поліетилену низького тиску – поліетиленового воску [10]. Запропонована технологія дозволяє ефективно використовувати побічні продукти виробництва поліетилену й значно знизити витрати на реагенти.

Окрім відходів виробництва, на звалищах й полігонах накопичено значну кількість відходів споживання, що також можуть стати перспективним джерелом вторинної сировини для отримання різних продуктів, в тому числі ПАР. Наприклад, в результаті термічної переробки відпрацьованих шин отримують рідку фракцію вуглеводнів, яку за фізико – хімічними властивостями ототожнюють з деякими нафтопродуктами (наприклад, пічне паливо, мазут, моторні палива) [11, 12].

Піроконденсат – рідка фракція вуглеводнів – масляна рідина темно-коричневого кольору зі специфічним різким запахом, з незначним вмістом сірки (до 1,05 % мас.), досить низькою температурою спалаху в закритому тиглі (23–25 °С) та високим йодним числом (45–50 г/100 мл). Піроконденсат містить (у середньому): ароматичних вуглеводнів – ~52 % мас., нафтоєвих та олефінових вуглеводнів – ~33 % мас., парафінових – ~10,5 % мас. [13]. Методом перегонки із піроконденсату виділяють три основні фракції: фракція, що википає в межах 38–180 °С; фракція, що википає в межах 180–350 °С та залишкова фракція, що википає при температурі вище 350 °С. Перші дві фракції використовують в якості додаткової компоненти з високим октановим числом при виготовленні моторних палив.

Фракція піроконденсату, яка википає при температурі вище 350 °С, є в'язкою темною рідиною з кінематичною в'язкістю 12 сСт (при температурі 50 °С) та молекулярною масою 350–400. Як високополярний продукт окиснення органічних гетеро сполук, ненасичених та ароматичних вуглеводнів, ця фракція представлена, в основному, високомолекулярними

ароматичними вуглеводнями (пірени, хризени, антрацени), а також кисне-сірко-вмісними сполуками, в тому числі і алкілфенолами. Дослідження фракції методом ІЧ-спектроскопії показало, що у груповому складі вуглеводнів переважають ароматичні структури та карбонільвмісні сполуки [12, 13].

На практиці дану залишкову фракцію, об'єм якої становить ~35 % мас., використовують, переважно, при будівництві доріг. Такий підхід не дозволяє в повній мірі реалізувати ресурсний потенціал продукту, який завдяки значному вмісту ресурсоцінних компонентів може стати перспективною сировиною для нафтохімічного синтезу. Тому, з огляду на вищевикладене, пропонується розглянути залишкову фракцію піроконденсату, що википає при температурі вище 350 °С та містить понад 50 % мас. ароматичних вуглеводнів, як джерело альтернативної сировини для синтезу аніоноактивних ПАР.

### 3. Мета і завдання дослідження

Метою роботи є розробка технології отримання аніоноактивних поверхнево-активних речовин на основі вузької фракції піроконденсату з молекулярною масою 350–400 та вмістом ароматичних вуглеводнів >50 % мас. як вторинної сировини, отриманої у процесі термічної переробки відпрацьованих шин транспортних засобів методом піролізу.

Досягнення поставленої мети забезпечується розв'язанням таких завдань:

- 1) дослідити й обґрунтувати умови сульфурвання вузької фракції піроконденсату;
- 2) дослідити властивості отриманих продуктів синтезу;
- 3) визначити закономірності й умови застосування синтезованих ПАР для очищення нафто-забруднених ґрунтів.

### 4. Розробка технології сульфурвання вузької фракції піроконденсату

Сульфурвання як одна з найважливіших реакцій органічного синтезу, що широко використовується для хімічної обробки аліфатичних і ароматичних вуглеводнів, є процесом введення сульфогрупи – SO<sub>3</sub>H в молекулу органічної сполуки [14, 15].

На виконання поставленої мети методом сульфурвання була оброблена фракція піроконденсату з молекулярною масою 350–400 та вмістом ароматичних вуглеводнів >50 % мас. В якості сульфуючих агентів використано газоподібний SO<sub>3</sub> та олеум.

При сульфурванні газоподібним SO<sub>3</sub> реакція проходила при температурі 50–60 °С методом барботажу газоподібного SO<sub>3</sub> через досліджуваний зразок протягом 10–30 хвилин. Для нейтралізації отриманого продукту використовували водний розчин NaOH. При таких умовах сульфурвання вміст сульфокислот в отриманих зразках синтезованого продукту знаходився в межах 9–30 %.

При сульфурванні олеумом сульфуючий агент подавали у досліджувану фракцію протягом 15–30 хвилин при температурі 50–70 °С. Одержаний кислий продукт

розбавляли водою у співвідношенні 1 до 1,5 по об'єму та відстоювали при температурі 30–40 °С. При таких умовах сульфурвання вміст сульфокислот у отриманих зразках синтезованого продукту знаходився в межах 7–25 %.

Для нейтралізації отримуваних речовин до рН 8–9 використовували водний розчин NaOH (концентрація 35 %). Сульфокислоти виділяли методом екстракції з використанням водного розчину ізопропілового спирту (таким чином, щоб в суміші після нейтралізації і додавання водного розчину спирту його концентрація знаходилась на рівні 45–59 % мас.). Нейтралізація і екстракція проводилися при температурі 30–40 °С. Розділення на шари проводилося за допомогою воронок при зазначеній температурі. Відгонка розчинника здійснювалася при подачі інертного газу.

При екстракції із кислого середовища (до етапу нейтралізації) водонерозчинними спиртами (у співвідношенні 1:1), суміш перемішували і ставили на відстоювання при температурі 30–40 °С. Нижній шар (кислу воду) відділяли, а спиртовий розчин використовували для отримання зразків (після нейтралізації та відгонки).

За іншою технологією нейтралізацію проводили водним розчином NaOH в присутності водного розчину ізопропанолу та наступним розділенням на вуглеводневий шар, спирто-водний шар сульфонатів та водно-сольовий шар сульфату методом відстоювання. Готовий зразок одержували після відгонки ізопропанолу.

Також виділялися сульфонати із кислих продуктів сульфурвання без водної промивки, однак в цьому випадку утворюється дуже велика кількість сульфонату натрію, який випадає в шар і ускладнює розділення і виділення сульфонату. У випадках одержання сульфонатів амонію використовували водний розчин аміаку (17 мас. %).

Для вивчення впливу сульфокислот і сульфонатів натрію на властивості зразків, які попадають у водні розчини, проводили їх екстракцію пентанолом із водно-сольового розчину. Потім відганяли пентанол і одержані водорозчинні сульфонати додавали до зразків. Для зменшення вмісту сульфонату в зразках, що отримувалися, деякі з них центрифугували за допомогою центрифуги, де концентрація сульфонату зменшується в 2–3 рази, однак повне відділення неможливе.

Таким чином, з метою визначення найбільш оптимальних умов процесу сульфурвання, що забезпечують отримання кінцевої продукції з бажаними властивостями, було проведено 30 модифікацій методу сульфурвання, що відрізнялися наступним:

а) сульфурвання фракції піроконденсату з використанням газоподібного SO<sub>3</sub> як сульфуючого агента в присутності 10 % кубового залишку розгонки бутілових спиртів; нейтралізація рідких продуктів сульфурвання водним розчином NaOH та відстоювання з виділенням непрореагованого масла і масло-водного розчину сульфонатів натрію;

б) сульфурвання фракції піроконденсату з використанням газоподібного SO<sub>3</sub> як сульфуючого агента в присутності 10 % кубового залишку розгонки бутілових спиртів; нейтралізація водним розчином NaOH в присутності водного розчину ізопропанолу і наступне розділення з відстоюванням на вуглеводневий шар, спирто-водневий шар сульфонатів та водно-сольовий

шар сульфату; готовий зразок одержували після відгонки ізопропанолу;

в) сульфування, нейтралізація, і розділення аналогічно пункту (а) з наступним виділенням із зразку сульфонату натрію методом центрифугуванням;

г) сульфування аналогічно пункту (а) з наступним додаванням до сульфонованого продукту водонерозчинного спирту (пентаноловий, ізобутиловий) та промивкою водою; після розділення на спиртовий і водний шари, останній спускали, а верхній спиртовий нейтралізували розчином NaOH і відганяли спирт;

д) одержання зразку (по пункту (б), відгонку розчинника проводили під вакуумом;

е) сульфування рідким олеумом з наступним додаванням води, відстоюванням і розділення на масляний і водяний шари; нейтралізацію і розділення проводили згідно пункту (а) або (б);

ж) крім того, як добавки до зразків використовували такі ПАР як АФ-12, ДС-РАС, водорозчинні або маслорозчинні сульфонати сульфування очищених базових масел, або сульфонати, одержані при сульфуванні неочищених фракцій, які попадають в водносолевий розчин і виділені методом його охолодження і виділення водорозчинних сульфонатів від осаду сульфату натрію;

з) окремі зразки готували не в натрієвій, а в амонійній формі.

Таким чином, встановлено, що рекомендованою є технологія сульфування вузької фракції піроконденсату з екстракцією сульфонатів водним розчином ізопропанолу, що значно покращує товарну форму продукту. Сульфуючим агентом можна використовувати як SO<sub>3</sub>, так і олеум. У випадку використання олеуму, утворюється велика кількість відпрацьованої сірчаної кислоти з високим вмістом органічних сполук, що потребує додаткової утилізації.

В якості кінцевого продукту сульфування було отримано 30 зразків. Всі досліджувані зразки мали різний композиційний склад, на який впливала технологія їх отримання. У зразків, що отримані методами екстракції, вміст сульфонатів становив 50–70 %, а у зразків, що отримані без екстракції, – 30–40 %. Вміст вуглеводнів також залежав від застосування методу екстракції і коливався в межах 12–20 % для зразків, що отримані в результаті екстракції, і 20–33 % – без екстракції. Застосування екстракції також впливає на вміст сульфонату натрію. У зразків, одержаних без екстракції, вміст сульфонату натрію становить 6–12 %, а з екстракцією – 8–13,0 %. Спостерігається тенденція до зменшення вмісту Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> у випадках екстракції сульфокислот (до нейтралізації) водонерозчинними спиртами у порівнянні з екстракцією сульфонатів водним розчином ізопропанолу. Усі одержані зразки є розчинними у воді.

На основі результатів випробувань фізико – хімічних властивостей отриманий продукт рекомендується використовувати як поверхнево – активні речовини сульфонатного типу.

### 5. Десорбція нафтових забруднень водними розчинами на осевої отриманих поверхнево – активних речовин

З метою вивчення можливостей практичного застосування отриманого продукту в лабораторних умо-

вах досліджено ефективність очищення нафто – забруднених ґрунтів розчинами на основі синтезованих поверхнево-активних речовин. Експериментальні дослідження були проведені методом відмивання проб ґрунту, відібраних із амбарів – накопичувачів відходів нафтопереробки українського нафтопереробного заводу. Амбари, з яких відбиралися зразки, мають глибину до 3,5 м, на дні амбарів – глина, практично в усіх амбарах присутній придонний шар – суспензія води, глини і нафтошламу.

Ефективність очищення забруднених ґрунтів суттєво залежить від складу й властивостей нафтошламас, при зберіганні яких у відкритому середовищі відбувається їх «старіння» як результат випаровування легких фракцій, окислення та осмолення нафти, додаткового забруднення механічними домішками [16]. Це твердження підтверджують лабораторні дослідження фізико-хімічних властивостей шести зразків, відібраних з досліджуваних амбарів – накопичувачів. Так, густина (при температурі 20 °С) усіх досліджуваних зразків коливалася в межах від 0,945 до 0,984 г/см<sup>3</sup>; масова частка води – 9,87–13,40 %; масова частка органічної частини – 2,29–9,29 %; масова частка механічних домішок – 78,08–83,39 %.

Очищення ґрунту методом його відмивання проводилося у водному середовищі з додаванням синтезованих ПАР, 20 % розчину фосфату натрію і хлористого калію при 60 °С. Повноту протікання реакції омилення контролювали титруванням 1 % – ним розчином NaOH. За результатами дослідження (табл. 1) можна зробити висновок, що обробка вихідного забрудненого ґрунту мийною сумішшю дозволяє очистити його на 85–90 %.

Таблиця 1

Вміст нафтопродуктів у зразках до і після відмивання

№ зразку	Загальний вміст вуглеводнів перед десорбцією	Загальний вміст вуглеводнів після десорбції
1	7,97	0,32
2	8,68	0,27
3	7,66	0,35
4	9,29	1,73
5	2,29	0,21
6	2,48	0,82

Отже, встановлено, що при використанні ПАР, синтезованих на основі вузької фракції піроконденсату, спостерігається досить висока відмивна здатність. Незначне зниження ефективності очищення для зразків 4 й 6 може бути пояснене тим, що молекулярна маса вуглеводнів цих зразків є вищою у порівнянні з іншими досліджуваними зразками. Тобто молекулярна маса вуглеводнів у зразках впливає на ефективність очищення.

### 6. Висновки

Встановлено принципову можливість використання вузької фракції піроконденсату, що википає при температурі вище 350 °С та містить більше 50 % ароматичних вуглеводнів для синтезу аніоноактив-

них поверхнево – активних речовин. Доведено, що рекомендованою технологією є оброблення зазначеної фракції методом сульфування при температурі 50–60 °С з використанням SO<sub>3</sub> як сульфуючого агента та екстракцією сульфонатів водним розчином ізопропанолу. Вивчено ефективність практичного застосування синтезованого продукту для очищення нафто-забруднених ґрунтів. Визначено залежність

ефективності очищення від молекулярна маса вуглеводнів у зразках.

Налагоджене промислове виробництво ПАР на основі піроконденсату як вторинної сировини сприятиме підвищенню екологічної безпеки та зниженню антропогенного навантаження на довкілля за рахунок утилізації відпрацьованих шин як відходів, а також раціональному природокористуванню.

### Література

1. Ланге, К. Р. Поверхностно – активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение [Текст] / К. Р. Ланге, под науч. ред. Л. П. Зайченко. – СПб. : Профессия, 2004. – 240 с.
2. Китмейер, Д. Поверхностно – активные вещества в моющих средствах на водной основе [Текст] / Д. Китмейер // Мир гальваники. – 2007. – № 04 (4). – С. 16–18.
3. Schramm, L. L. Surfactants and their applications [Text] / L. L. Schramm, E. N. Stasiuk, D. G. Marangoni. – Annu. Rep. Prog. Chem., Sect. C, 2003. – P. 3–48.
4. Бабаев, В. И. Технические поверхностно – активные вещества из вторичных ресурсов в дорожном строительстве [Текст] / В. И. Бабаев, И. В. Королев, А. М. Гридчин, В. И. Шухов; под. ред. И. В. Королева. – М. : Транспорт, 1991. – 144 с.
5. From waste management to resource recovery: a developing sector [Text] / A report to the department for business, innovation and skills ; completed by Sundeep Aulakh, Laura Thorpe. – 2011. – 81 p.
6. Способ переработки кислых гудронов. Патент SU 1068462 А СССР: МСД С 10 0 17/10; С 07 С 139/16 [Текст] / Панаев Ю. Д., Рудоман В. И., Евглевская Л. Л., Рудь М. И., Яценко А. М., Тетерук В. Г., Мельник А. П. – заявитель и патентообладатель Харьковский политехнический институт. – №3475051/23-04; заявл. 28.07.82 ; опубл. 23.01.84. – 3 с.
7. Никитина, А. А. Кислый гудрон как перспективное сырье для получения нефтепромысловых реагентов [Текст] / А. А. Никитина, А. С. Беляева, Р. В. Кунакова // Экспозиция «Нефть. Газ». – 2012. – № 7 (25). – С. 19–22.
8. Кудашева, Ф. Х. Составы для нефтевытеснения на основе отходов нефтехимии [Текст] / Ф. Х. Кудашева, А. Д. Бадикова, А. М. Мусина, И. Ю. Муталлов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2010. – № 1. – С. 1–6.
9. Hydrocarbon gas oil, ethylene dichloride. Patent 3956372 A US [Text] / Coleman J. R., Plummer M. A., Zimmerman C. C., Pietrzak H. J., Luetzelschwab W. E., Robinson K. W., Schroeder D. E. – applicant and patentee Marathon Oil Company. - № US 05/412.062 ; declared 02.11.73 ; published 11.05.76.
10. Евдокимова, Н. Г. Ресурсосберегающая технология получения поверхностно-активных веществ из отходов производства полиэтилена [Текст] / Н. Г. Евдокимова, Н. Е. Комарова, Е. В. Логинова, Э. И. Тимербаева, Р. Р. Мурзабаева // Безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 11. – С. 52–56.
11. Nikitchenko, J. S. Environmental safety technology of scrap tires treatment [Текст] / J. S. Nikitchenko, O. O. Vovk // Proceedings of The National Aviation University. – K.: NAU, 2009. – № 4 – P. 94–99.
12. Нікітченко, Ю. С. Фізико-хімічні властивості піроконденсату, отриманого шляхом переробки відпрацьованих автомобільних шин [Текст] / Ю. С. Нікітченко, О. І. Запорожець // Нафтова і газова промисловість : Науково-виробничий журнал. – 2011. – № 1. – С. 47–51.
13. Нікітченко, Ю. С. Аналіз структурно-групового і хімічного складу піроконденсату та його продуктів [Текст] / Ю. С. Нікітченко, О. І. Запорожець, О. О. Вовк // Вісник Національного авіаційного університету. – 2010. – № 1 – С. 191–195.
14. Тимофеев, В. С. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза [Текст] : уч. пос. для вузов / В. С. Тимофеев, Л. А. Серафимов; 2-е изд. перераб. – М.: Высш.шк., 2003. – 536 с.
15. Лебедев, Н. Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза [Текст] : уч. для вузов / Н. Н. Лебедев; 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1988. – 592 с.
16. Ступин, Д. Ю. Загрязнение почв и новейшие технологии их восстановления [Текст] : уч. пос. / Д. Ю. Ступин. – СПб: Лань, 2009. – 432 с.