

**XXVII наукова конференція
з біоорганічної хімії та нафтохімії
Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії
НАН України**

Київ

21–22 березня 2012 р.

ТЕЗИ

УДК 41.64:541.124.7:547.315.2

© 2012

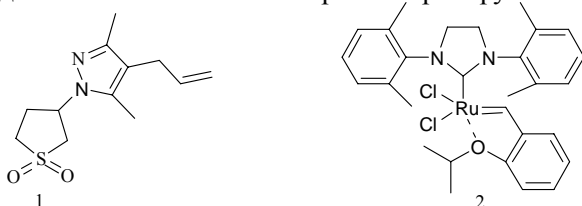
**Функціоналізація нових похідних
3,5-диметилпіразолу реакціями крос-метатезису**

В.М. Головатюк, Ю.В. Безуглий, В.І. Кашиковський

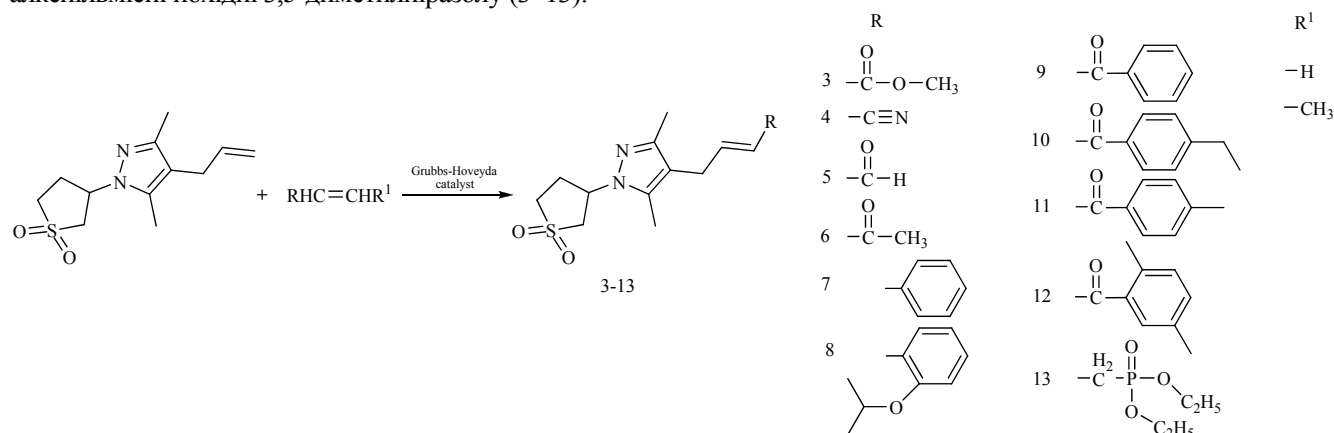
*Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,
відділ органічного та нафтохімічного синтезу*

Багато похідних піразолу застосовують у фармакології як протизапальні, жарознижувальні та знеболювальні препарати. Деякі піразоли виявляють гербіцидну та інсектицидну активність. Це зумовлює актуальність пошуку шляхів отримання нових піразолвмісних сполук, які можуть виявитись потенційно біологічно активними речовинами.

Ми вивчили можливості функціоналізації нового алілпохідного диметилпіразолу (1) за допомогою реакцій крос-метатезису під дією синтезованого нами вперше в Україні рутенійкарбенового каталізатора Грabbса–Ховейди (2).



Крос-партнерами вибрано олефіни з функціональними групами, які за потреби, в подальшому можуть бути трансформовані у спиртові, аміно- та карбоксильні групи, що найчастіше входять до складу молекул біологічно активних сполук. У результаті проведених досліджень ми з високим виходом синтезували нові функціоналізовані алкенілвмісні похідні 3,5-диметилпіразолу (3–13):



Структуру синтезованих сполук підтверджено даними спектроскопії ЯМР ^1H . Встановлено, що всі вони без винятку є Е-ізомерами.

Таким чином встановлено, що реакції крос-метатезису можна успішно застосовувати для функціоналізації алілпіразолу зі збереженням подвійного зв'язку в ланцюзі замісника, який в разі потреби також може бути функціоналізований. Це забезпечує перспективність отриманих похідних як потенційно біологічно активних сполук або напівпродуктів для їх синтезу.

Дослідження фізико-хімічних властивостей моторних палив з високим вмістом біоетанолу

О.О. Гайдай, С.О. Зубенко, Т.М. Каменєва, В.С. Пилявський, Є.В. Полункін

*Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,
відділ гомогенного каталізу та присадок до нафтопродуктів*

Одним із варіантів вирішення проблеми отримання високоякісних автомобільних палив може бути застосування біопалив із високим вмістом етанолу.

З метою ліквідації недоліків використання біопалив ми розробили рецептуру, оптимізували компонентний і концентраційний склад й напрацювали дослідну партію моторного біопалива Е-85 (спільно з ТОВ "Техінсервіс", Київ).

Вивчено вплив різних присадок і добавок на тиск насиченої пари (ТНП) і пускові властивості біоетанольних моторних палив. Оптимізовано хімічний склад біопалива Е-85 з урахуванням значень ТНП і точки задиру палива.

Проведено розширені моторні випробування розробленого моторного біопалива Е-85 на базі ПМаш НАН України (м. Харків). Встановлено, що в разі регулювання найвигіднішого кута випередження запалення й тривалості впорскування на режимі номінальної потужності двигун на паливі Е-85 розвинув потужність відповідно 83,4 і 103,3 % порівняно з потужністю, отриманою на бензині А-95. Ефективний ККД на всіх режимах під час роботи двигуна на біоетанольному моторному паливі Е-85 вищий, ніж на бензині.

При роботі двигуна на паливі Е-85 токсичність відпрацьованих газів істотно зменшувалась у порівнянні з роботою на бензині: більш ніж у 2 рази зменшувались концентрації СО та C_nH_m , а за режиму максимальної потужності – у 3 рази знижувався вміст оксидів азоту NO_x .

Технологія "GEO TUBE" як один зі шляхів ліквідації загрози екологічної катастрофи на Бортницькій станції аерації

В.О. Євдокименко, В.І. Кашиковський

*Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,
відділ органічного та неорганічного синтезу*

Бортницька станція аерації (БСА) має найбільші очисні споруди на території України, на ній щодоби очищується близько 1 млн м³ стічних вод. Станція, збудована в 1960-х роках, на сьогодні неспроможна забезпечити ні якісного водоочищення, ні утилізації накопичених осадів. Ми пропонуємо комплексне вирішення проблеми зневоднення осадів і подальшою їх утилізацією шляхом газифікації.

Для пришвидшення водовіддачі осад обробляли флокулянтном або коагулянтном, фільтрували крізь геотекстильний матеріал. Такий підхід дав змогу за першу добу отримати 80 % води у фільтраті, а в результаті висушування в природних умовах протягом 2 тижнів кількість вологи в осаді зменшувалась до 90 %. Подальше зневоднення рекомендуємо проводити із застосуванням теплогазогенератора.

Таке технологічне рішення, по-перше, уможливить зневоднення й переробку мулів і осадів, що надходять на БСА та накопичені на мулових полях; по-друге, дасть змогу використовувати зневоднені осад як відновлювальні джерела енергії з мінусовою вартістю, що гарантуватиме енергобезпеку БСА й повну незалежність від ціни енергоносіїв; по-третє, мулові карти, які не заповнюватимуться мулом, не впливатимуть негативно на навколишнє середовище, перестануть бути загрозою екологічних катастроф цієї території.

Підвищення динамічної міцності біоетанольного моторного палива в результаті обробки ультразвуком

С.О. Зубенко, В.С. Пилявський, О.О. Гайдай, Є.В. Полункін

*Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,
відділ гомогенного каталізу та присадок до нафтопродуктів*

З розвитком автомобільної техніки виробники двигунів внутрішнього згоряння дедалі частіше віддають перевагу інжекторному типу введення палива в двигун. Така система введення палива характеризується високими тисками його впорскування й додатковими елементами паливного насоса, що змащуються безпосередньо паливом. Через незадовільні мастильні властивості насос зношується і виходить з ладу.

Порівнянням альтернативних (етанольних) і сучасних палив із традиційними було виявлено їх досить низькі протизношувальні властивості, що не може не відбитися на роботі паливного насоса.

Одним із методів часткового поліпшення цих характеристик є обробка ультразвуком. Вплив ультразвуку частотою 22 кГц (на УЗДН-А) на протизношувальні властивості досліджено на чотирикульковій машині тертя.

При обробці неполярних рідин (*n*-гептан, ізооктан) ефект підвищення протизадирних властивостей не виявлено. За обробки полярних рідин (абсолютизований етанол) критично збільшувалось навантаження до задиру в 1,5 раза, а в разі домішування до етанолу спиртів C_3-C_5 цей показник зростав у 2 рази порівняно з вихідними значеннями для рідин без обробки.

УДК 662.753+665.662.2

Очищення трансформаторної оливи контактним методом із застосуванням кавітації

С.О. Зубенко, Є.В. Полункін

*Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,
відділ гомогенного каталізу та присадок до нафтопродуктів*

На сьогодні для очищення відпрацьованих енергетичних олив нафтового походження широко застосовують установки з перколяційною схемою очищення, за якої оливу прокачують крізь шар гранульованого адсорбенту. При цьому потенціал адсорбенту використовується не повністю (накопичення забруднювача на поверхні гранул, утворення промивних каналів у шарі гранул тощо), наслідком чого є неефективність роботи зазначених установок.

Для реалізації оптимального перемішування суспензії (подрібнений адсорбент (палигорськіт) – відпрацьована олива) було застосовано змішувач з ефектом кавітації, пов'язаний з турбулентністю потоку між роторною і статорною частинами кавітатора. Крім кращого перемішування, отримано ще низку корисних ефектів: додаткову активацію поверхні адсорбенту, що забезпечує кращу сорбцію забруднювача, саморозігрів середовища внаслідок кавітаційної дії.

У такий спосіб вдалося добитися більшої селективності адсорбенту до забруднювача, менших втрат очищеної оливи. На побудованій установці очищення відпрацьованих нафтових олив з кавітаційним змішувачем відпрацьовано технологічні режими, виявлено ефективне очищення оливи за температури до 40 °С.

Відпрацьована трансформаторна олива, що була очищена на цій установці, відповідає всім вимогам до свіжої оливи Т-1500 згідно з СОУ-Н-ЕЕ 43.101:2009.

Екзомодифіковані фулерени як багатофункціональні присадки до нафтопродуктів і біопалив

К.О. Курнач¹, Є.В. Полункін¹, В.С. Пилявський¹, П.А. Трошин²

*¹Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,
відділ гомогенного каталізу і присадок до нафтопродуктів*

²Інститут проблем хімічної фізики РАН

Фулерени як багатофункціональні присадки до нафтопродуктів здатні поліпшувати деякі їх властивості: антиокиснювальні, протизношувальні, низькотемпературні, антистатичні.

Нині дуже актуальною є проблема поліпшення протизношувальних, зокрема протизадирних, властивостей очищених від гетероорганічних сполук моторних палив нафтового походження та біопалив на основі спиртів.

Ми досліджували вплив екзомодифікованих хлор- та азотпохідних фулеренів на протизадирні властивості бензилового спирту. Встановлено немонотонний, екстремальний характер поліпшення протизадирних властивостей спиртових розчинів залежно від кількості приєднаних груп в екзомодифікованих фулеренах. Найефективнішу дію серед протестованих фулеренових похідних виявляють сполуки із середньою кількістю приєднаних груп. Для хлорвмісних $C_{60}Cl_n$ вони поліпшуються в ряду $n = 6 < n = 28 < n = 12$, а для азотвмісних $C_{60}[C_nH_mN_k]_x$ – за кількості приєднаних груп x у ряду $x = 14 < x = 6 < x = 8$.

Показано, що екзопохідні фулерену C_{60} виявляють ефективну дію як протизадирні присадки до моторних палив за масових концентрацій на порядок менших, ніж традиційні металокомплексні присадки.

УДК 541.127:547.689

Антиокиснювальні властивості органорозчинних полізаміщених похідних фулерену C_{60}

Р.С. Жила¹, Є.В. Полункін¹, Т.М. Каменєва¹, П.А. Трошин²

*¹Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,
відділ гомогенного каталізу та присадок до нафтопродуктів*

²Інститут проблем хімічної фізики РАН

Ми вперше дослідили антиоксидантну активність полізаміщених похідних фулерену C_{60} за модельних умов радикально-ланцюгового окиснення бензилового спирту залежно від ступеня функціоналізації, положення і природи функціональних груп у вуглецевому каркасі.

У роботі використано екзомодифіковані фулерени: поліхлоровані $C_{60}Cl_n$ ($n = 6, 12, 18$); фторовані $C_{60}F_{48}$, $C_{60}(OC_xH_yF_z)_{12}$; азотвмісні $C_{60}(NR)_n$ ($n = 6, 8, 14$).

Виявлено немонотонність змін констант швидкості стехіометричного обриву ланцюгів ініційованого окиснення бензилового спирту по пероксильних радикалах хлорвмісними фулеренами залежно від ступеня їх хлорування. Найефективнішим інгібітором окиснення виявився $C_{60}Cl_{12}$.

Встановлено, що фторвмісні фулерени стехіометрично обривають ланцюги окиснення бензилового спирту, взаємодіючи з алкільними й пероксильними радикалами. Фулерен $C_{60}(OC_xH_yF_z)_{12}$ виявляє антиоксидантну активність на рівні відомого промислового акцептора пероксильних радикалів 2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфенолу (Іонол).

Вперше продемонстровано реалізацію каталітичного обриву ланцюгів окиснення бензилового спирту азотвмісними екзодральними фулеренами. Визначено бруто-стехіометричні коефіцієнти ($f > 16$) та константи швидкості обриву ланцюгів окиснення бензилового спирту по алкільних і пероксильних радикалах.

Оцінка коксових відкладень на дезактивованих у перетворенні *n*-гексану цеолітах

С.В. Коновалов, К.І. Патриляк, М.В. Охріменко, В.В. Іваненко, Л.К. Патриляк

*Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,
відділ каталітичного синтезу*

На дезактивованому в перетворенні *n*-гексану (500 °С) цеоліті НЦВМ методом дискретно-послідовного мікроокиснення коксу нещодавно зафіксовано явище коливального руху коксу із зовнішньої поверхні вглиб поруватої структури цеоліту й навпаки. Запропоновано теоретичне трактування цього явища на основі відмінності фундаментальних термодинамічних характеристик вуглецю в масивному стані та у вигляді кластерів.

З метою поглиблення розуміння зазначеного явища досліджено дезактивовані за тих же умов зразки НУ і НМ.

Визначено, що загальний вміст коксу у НУ склав 8 % мас. і за такої кількості вуглистих відкладень на даному зразку коливальної поведінки не спостерігалось. Кількість утвореного коксу на цеоліті НМ становила 2,5 % мас., була близькою до вмісту коксу на дослідженому раніше цеоліті НЦВМ, і для зразка НМ спостерігалось коливальна динаміка коксу.

Отже, явище коливального руху коксу характерне для зразків, ступінь закоксованості яких не перевищує певного рівня. Очевидно, що за надмірної заповненості поруватої структури цеоліту коксом, можливості для проникнення останнього всередину пор обмежені. Не виключено, що є й нижня межа закоксованості, коли вуглистих відкладень недостатньо для покриття зовнішньої поверхні цеолітних кристалів суцільним шаром, тоді феномен коливальності теж не проявлятиметься.

УДК 547.722.2

Роль активированной воды в процессе получения фурфурола

Д.С. Каменских, В.И. Каишковский

*Институт биорганической химии и нефтехимии НАН Украины,
отдел органического и нефтехимического синтеза*

Работа посвящена вопросу переработки биомассы, содержащей значительное количество пентозанов, в соединение фуранового ряда – фурфурол. Цель исследований заключалась в замене классического катализатора гидролиза – кислоты – на активированную воду, которая дает возможность устранить существующие недостатки кислотной гидролизной технологии.

Активированную воду готовили в специально созданном электроактиваторе. Активацию водного раствора соли осуществляли приложением разности потенциалов к электродам от блока питания с одновременным контролем рН и редокс-потенциала среды. Установлено, что для приготовления активированной воды с низким значением рН необходимы растворы солей, в состав которых входят анионные остатки сильных минеральных кислот. Показано также, что солевой раствор после активации имеет достаточно большой релаксационный эффект и в течение 10 сут способен сохранять значения рН и редокс-потенциала с незначительными изменениями.

Проведены сравнительные каталитические исследования активированной воды и соляной кислоты при одинаковых значениях рН соответствующих растворов. По выходу фурфурола установлено, что активированная вода в 1,5 раза интенсивнее ведет процесс гидролиза.

Показано, что при осуществлении циркуляции активированной воды через слой пентозансодержащего сырья выход фурфурола повышается в 2 раза.

УДК: 616:579.61

© 2012

QSAR-моделирование ингибиторов фарнезилдифосфатсинтазы и изучение их антимикотической активности

И.Н. Коперник, В.В. Ковалишин, Л.А. Метелица, В.В. Прокопенко

*Институт биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины,
отдел медико-биологических исследований*

С целью поиска новых соединений с потенциальной антиканцерогенной активностью выполнены дизайн и экспериментальная проверка результатов QSAR-прогнозирования эффективных ингибиторов фарнезилдифосфатсинтазы (ФДС) в группе новых синтезированных азотсодержащих бисфосфонатов (АБФ).

Методом искусственных нейронных сетей построена прогнозирующая модель. На основе выборки ингибиторов ФДС создано 10 моделей. Восемь соединений, для которых QSAR-моделью предсказана высокая ингибирующая активность, синтезированы в отделе тонкого органического синтеза ИБОНХ НАН Украины.

Изучение антифунгальной активности АБФ проводили против гриба *Candida albicans* (M885 ATCC 10231). Фунгистатический эффект оценивали диско-диффузионным методом на твердой питательной среде по величине зон задержки роста культуры *Candida*. В качестве референс-препарата использовали антигрибковый препарат "Флуконазол".

Активность двух из восьми исследованных соединений (MS-6 и MS-10) существенно превышала эффект флуконазола. Предполагается, что высокая фунгистатическая активность MS-6 и MS-10 связана со способностью АБФ ингибировать ФДС грибов.

УДК 577.125.53

Роль сигнальних шляхів саліцилової кислоти у регуляції балансу ліпофільних антиоксидантів

Т.А. Калачова, О.М. Яковенко, С.В. Кретинін, В.С. Кравець

*Институт біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,
відділ молекулярних механізмів регуляції метаболізму клітини*

Саліцилова кислота в рослинному організмі виконує низку регуляторних і сигнальних функцій, однак найповніша її роль виявляється за дії стресових факторів різної природи. Серед механізмів, що залучаються до реалізації протекторної ролі саліцилової кислоти в організмі рослин є регуляція рівня продукування активних форм кисню (АФК) в умовах стресу, а саме: підтримання вмісту ендогенних АФК на рівні, необхідному для індукції захисних реакцій та експресії відповідних генів із запобіганням ушкоджувального впливу активних радикалів. Показано, що рослини арабідопсису, дефектні за геном GDP-манозопірофосфорилази – ключового ферменту біосинтезу аскорбінової кислоти (*vtc1*) – мають підвищений рівень α - та γ -токоферолів у фотосинтетичних тканинах за нормальних умов і після дії екзогенної саліцилової кислоти. Водночас рослини, дефектні за транскрипційним фактором NPR1, що є основним регулятором експресії саліцилат-індукованих PR-генів, демонстрували зниження рівня α -токоферолу за дії саліцилової кислоти, що свідчить про активацію NPR1 – незалежних регуляторних шляхів. У свою чергу, обробка вегетативної частини рослин на стадії цвітіння спричинювала підвищення вмісту токоферолів і фенольних антиоксидантів (у тому числі флавоноїдів) у насінні, що формувалось. Отже, виявлено чітку взаємозалежність між вмістом токоферолів у листках арабідопсису та функціонуванням аскорбатної антиоксидантної системи, а також залучення сигнального каскаду саліцилової кислоти до регуляції вмісту токоферолів, що забезпечує захист клітинних мембран від окиснення разом зі збереженням їх функціональності.

Синтез амінокислотних похідних формонетину і кладрину

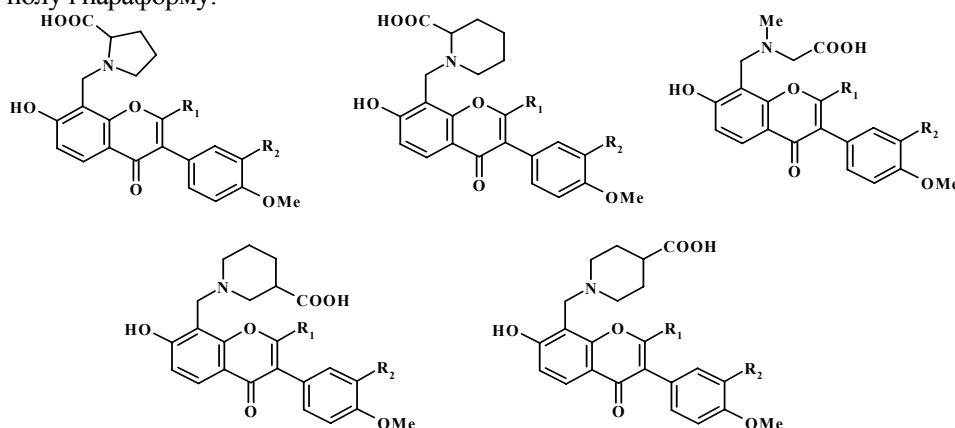
Г.П. Мруз¹, О.Д. Федоряк¹, С.П. Бондаренко², М.С. Фрасинюк¹

¹Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,

²Національний університет харчових технологій

Метою роботи було введення в молекули природних ізофлавонів залишків амінокислот для поліпшення проникності подібних сполук крізь клітинні мембрани й підвищення їх біодоступності.

Ми вивчили реакцію Манніха природних ізофлавонів за участю *N*-заміщених амінокислот – *L*-проліну, саркозину, піперидин-карбонових кислот, запропонували метод амінометилування із застосуванням абсолютного етанолу і параformу.



Структура синтезованих сполук,
($R_1 = \text{H, Me}$; $R_2 = \text{H, OMe}$)

Таким чином ми синтезували низку нових амінокислотних похідних формонетину і кладрину, наявність основної та кислотної груп у молекулах яких розширила можливості вивчення їх біологічної активності. Запропоновану нами методу амінометилування ізофлавонів з невисокою розчинністю можна використати для синтезу амінокислотних похідних інших природних сполук.

Синтез і властивості нанокompозитів поліаніліну з Fe_3O_4

Ю.В. Носков, О.А. Пуд

Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,
відділ хімії функціональних матеріалів

Останнім часом значний інтерес викликають гібридні нанокompозити електропровідних полімерів, оскільки їх можна використовувати як наповнювачі в матеріалах антистатичного та електромагнітного захисту, наноносії для доставки біоактивних сполук у медицині та біології, каталітичні матеріали тощо. Значні перспективи мають нанокompозити поліаніліну з магнітними наночастинками Fe_3O_4 .

Ми отримали такі наноматеріали методом хімічної окиснювальної полімеризації аніліну у водно-кислотному середовищі за наявності диспергованих наночастинок Fe_3O_4 . Як допант для поліаніліну обрано додецилбензолсульфо-кислоту, яка одночасно є пластифікатором поліаніліну й поліпшує його сумісність з іншими матеріалами. Процес полімеризації контролювали потенціометрично. Це дало змогу відстежити його кінетику та встановити, що зі зниженням температури реакційного середовища ефективність реакції зростає через зменшення кількості різних реакцій обриву макромолекул, яка збільшується.

Електронно-мікроскопічне дослідження показало, що отримані композити мають будову типу ядро-оболонка, де ядро – це сферичні наночастинок Fe_3O_4 , а оболонка – поліанілінова сіль на їх поверхні. Встановлено склад отриманих композитів, визначено вихід поліаніліну, який виявився доволі високим – від 65 до 95 %. Термогравіметричним аналізом виявлено, що всі отримані композити починають помітно розкладатися за температур понад 300 °С, тобто їх термостабільність цілком достатня для переробки в промисловості термічними методами.

Порівняльна характеристика гомогенно- та гетерогенно-каталітичної переестерифікації ріпакової олії етанолом

М.В. Охріменко, К.І. Патриляк, Л.К. Патриляк

*Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,
відділ каталітичного синтезу*

На сьогодні світове промислове виробництво біодизельного палива представлено технологіями, які ґрунтуються на метанолізі олій та гомогенно-каталітичному проведенні процесу із застосуванням переважно лужних каталізаторів. На цьому етапі найперспективнішими напрямками є перехід від метанольної технології отримання біодизелю до етанольної, що уможливить переведення процесу на повністю відновлювану сировинну базу, та заміна розчинних каталізаторів на тверді.

Ми розробили гомогенно- та гетерогенно-каталітичні технологічні схеми отримання біодизельного палива з етанолу та олії, в яких досягається самочинне розділення естерової та гліцеринової фаз. У гомогенній технології (15–60 °С, 0,1 МПа, 1 год, етанол спеціальної підготовки) застосовано традиційний лужний каталізатор, у гетерогенній (180–200 °С, ~ 2 МПа, 24 год, товарний етанол-ректифікат) – новий твердий каталізатор. Об'єднує обидві технології відсутність енергоємної стадії відгонки неперетвореного надлишкового етанолу з готового продукту. На дослідних установках за кожною технологією напрацьовано представницькі партії етилових естерів жирних кислот. За моторними та енергоекологічними характеристиками ці продукти близькі один до одного, незважаючи на значні відмінності технологій їх виготовлення. За енергетичними показниками отримані біодизельні палива дещо (в межах 1–8 %) поступаються мінеральному паливу підвищеної якості, а в екологічному плані – істотно його переважають.

УДК 66.01.002.2.661.51

Переваги використання методів диспергування та механохімічної активації каталізатора для отримання синтетичних моторних палив із синтез-газу

*Н.Ю. Хімач¹, Є.В. Полункін¹, І.М. Глікіна²,
Є.В. Шелудько¹, В.В. Кременецький³, С.А. Шериньов²*

*¹Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,
відділ гомогенного каталізу та присадок до нафтопродуктів*

*²Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету імені В. Даля,
Україна, м. Северодонецьк*

³Технічний центр НАН України, Київ

Нині відпрацьовуються процеси виготовлення синтетичних палив через стадію утворення оксигенатів (диметилового етеру або спиртів C₁–C₄). Застосування оксигенатів дає змогу скоротити витрату нафти на виробництво товарного бензину. Відомо багато способів отримання оксигенатів конверсією синтез-газу, проте більшість із них здійснюються за жорстких умов (високі температура і тиск), що значно збільшує їх собівартість.

Проте відомі шляхи синтезу палива з використанням нанодисперсних частинок каталізатора, що дає змогу впливати на кінетику, вихід і термодинаміку хімічних реакцій. Запропоновано застосовувати дрібнодисперсну каталітичноактивну речовину без носія у стані аерозолу (АС – Aerosol Catalysis). Основою АС є поєднання в реакційному об'ємі (*in situ*) таких стадій: каталітична реакція, синтез наночастинок, їх механохімічна активація.

Ми провели початкові експериментальні дослідження конверсії синтез-газу в умовах АС (каталізатора Fe₂O₃–Co₂O₃, CuO–ZnO–Al₂O₃; P = атм; 5–6 Гц) і показали можливість утворення вуглеводнів різного складу та метанолу й етанолу з переважним синтезом останнього. У процесі синтезу зафіксоване також утворення з асиметричних наночастинок каталізатора його гармонійних симетричних структур.