



Гликин М. А.,  
Кудрявцев С. А.,  
Гликина И. М.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ ПО ТЕХНОЛОГИИ АЭРОЗОЛЬНОГО НАНОКАТАЛИЗА С МЕХАНОАКТИВАЦИЕЙ ЧАСТИЦ КАТАЛИЗАТОРА

*Отмечена и проанализирована проблема гетерогенно-каталитических процессов, тормозящая развитие химической и нефтеперерабатывающей промышленности. Этой проблемой является недостаточная прочность и термостойкость катализаторов на носителе. Решением этого является целая наука, связанная с производствами носителей катализаторов, что сказывается и на стоимости катализаторов в целом. Предложено решение этого вопроса — новая перспективная технология аэрозольного нанокатализа, позволяющая эффективно развивать промышленность Украины.*

**Ключевые слова:** аэрозольный нанокатализ, механоактивация, гетерогенный катализатор, прочность и термостойкость поверхности.

### 1. Введение

Общеизвестным фактом есть то, что еще в 1806 г. Н. Климан и Ш. Дезорм открыли каталитическое действие окислов азота на окисление сернистого газа в камерном процессе получения серной кислоты. Это был неожиданный и ошеломляющий результат для всех химиков. Промышленные каталитические технологии мира используют каталитически активный материал, нанесенный на пористый носитель [1].

Пористый носитель обеспечивает рост поверхности катализатора и соответственно скорость химических реакций [2]. Достаточно сложным является путь в создании оригинальной, работоспособной и эффективной технологии катализа.

Проблемой обеспечения взрывобезопасности гетерогенно-каталитических реакций занимались исследователи, материалы которых описаны в [3, 4].

Автор работы [5] исследовал возможность проведения химических реакций внутри области взрываемости. В дальнейшем при совместном сотрудничестве с коллегами из Института катализа — ИК (на сегодняшний день, Институт катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, Россия) продолжено исследование и в направлении, связанном с гетерогенными процессами, использующими катализатор на носителе. Одним из глобальных решений стало создание опытной установки на промышленном предприятии для продолжения научных исследований по свойствам гетерогенных катализаторов на носителях [4, 6].

В результате предложено разместить в реакционной зоне реактора максимально возможный объем активного катализатора, чтобы зафлегматизировать реактор. Одним из самых эффективных инженерных решений в катализе является нанесение частиц каталитически активного материала на твердый пористый носитель. Это резко увеличит активную поверхность катализа, повысит скорость реакции и производительность объема реактора. Однако появляются дополнительные дифу-

зионные стадии, связанные с наличием пор примененного катализатора на носителе и кинетикой процесса химического превращения реагентов в продукты реакции.

В промышленной практике известным фактом является размещение необходимого количества катализатора на пористом носителе в вертикальном реакторе несколькими радиальными слоями. Это связано с ограниченной прочностью носителя и влиянием на максимально возможную высоту слоя катализатора в реакторе и его сопротивлением потоку реагентов. Применение подобного катализатора позволит обеспечить определенное время контакта реагентов и определить обоснованную высоту слоя катализатора и число секций реактора. Для исключения разрушения катализатора требуется достаточно высокопрочный носитель, который определяется его пористостью. Чаще всего катализатор на носителе располагают по высоте реактора несколькими слоями [6].

Применение носителя усложняет промышленную технологию не только технологией приготовления катализатора, но требует специальных режимов его эксплуатации. Подобный катализ включает дополнительные стадии к каждой пористой частице катализатора: сорбции реагентов, их химическое взаимодействие и десорбцию продуктов реакции. Эти усложнения включают в высокую стоимость носителя и технологию приготовления катализатора [7, 8].

Актуальностью работы является создание и внедрение новой перспективной технологии аэрозольного нанокатализа, которая позволит эффективно развивать нефте- и химическую промышленность Украины.

### 2. Объект исследования и его технологический аудит

*Объект исследования* — новая оригинальная каталитическая технология взаимодействия химических реагентов, использующая каталитически активные частицы без носителя.

Этой каталитической технологией является технология аэрозольного нанокатализа (AnC). Принципиальная схема лабораторной установки довольно простая, а в промышленности существует возможность добавления стандартных аппаратов в зависимости от изучаемого химического процесса. Уникальным этой технологии является то, что она имеет определенную каталитическую систему, которая совмещает в себе физические и химические законы. Поэтому основной характеристикой, влияющей на протекание химического превращения, есть механохимическая активация катализатора *in situ*. Для изучения кинетических характеристик необходимо включить эту характеристику (параметр) в математическое описание химического процесса.

При изучении кинетики реакций в лабораторных условиях трудности состоят в дозировке катализатора в реактор с виброоживленным или вращающимся слоем катализатора. Небольшие трудности есть при попытке создать реактор с виброслоем в промышленных условиях. Первые исследования, проведенные в реакторе с псевдооживленным слоем, не отметили особых конструктивных трудностей при переходе от лабораторного к опытно-промышленному масштабу реактора.

### 3. Цель и задачи исследования

*Целью исследования* является интенсификация осуществления химического взаимодействия реагентов, которая позволяет получить и сохранить высокую скорость и селективность реакции.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Проанализировать химические превращения в условиях технологии AnC и сравнить результаты с катализом на носителе.
2. Рассмотреть возможность использования энергии, вносимой в реактор сырьевыми потоками.
3. Осуществить химические превращения в лабораторных и опытных условиях.

### 4. Анализ литературных данных

Около 5 лет целенаправленных экспериментов потребовалось при разработке нового решения создания эффективной технологии катализа без применения носителя [9]. Отказ от носителя существенно снижает себестоимость катализатора. В 1991 г. сотрудниками Государственного НИИМетанолпроекта (на сегодняшний день, Общество с ограниченной ответственностью «Научно-проектный институт химических технологий «Химтехнология», г. Северодонецк, Украина) была разработана каталитическая, принципиально новая, простая и конкурентноспособная технология без носителя — «Аэрозольный нанокатализ» (AnC). К сожалению, технология пока не внедрена в промышленность Украины и мало известна в мировой промышленности [10].

Практически в тот же период ученые и специалисты ИК в лаборатории реализовали процесс с каталитическими генераторами тепла (КГТ) [11, 12]. Это был процесс окисления природного газа воздухом, реализованный в большом каталитическом реакторе при стехиометрическом соотношении органического сырья и окислителя. Данный процесс гарантировал максимальное тепловы-

деление, высокую скорость, но создавал взрывоопасную среду в реакторе [13–15].

Сотрудники лаборатории промышленной экологии Северодонецкого филиала Государственного института азотной промышленности — СФ ГИАП (на сегодняшний день, Общество с ограниченной ответственностью «Научно-проектный институт химических технологий «Химтехнология», г. Северодонецк, Украина) в лаборатории проводили исследования обезвреживания отходов различных промышленных предприятий. После серии экспериментов было принято решение о флегматизации реактора слоем частиц катализатора [3] определенного размера и количества — что послужило началом к сотрудничеству с ИК [16]. Данный результат системных исследований показал направление изучения процессов по обеспечению взрывобезопасности химического оборудования.

Дальнейшее сотрудничество ученых двух институтов по вопросам обеспечения взрывобезопасности химических промышленных производств привело к исследованиям по применению каталитических генераторов тепла и применению технологии катализа, использующего гетерогенный катализатор на носителе [17, 18].

Результатом сотрудничества было создание опытной установки на Северодонецком Объединении «Азот» (Украина). Установку расположили на территории предприятия недалеко от печей сжигания промышленных отходов. Габариты реактора были следующие: диаметр — 200 мм; высота — 4 м.

В течение 4 лет специалисты Государственного НИИМетанолпроекта (на сегодняшний день, Общество с ограниченной ответственностью «Научно-проектный институт химических технологий «Химтехнология», г. Северодонецк, Украина) занимались исследованиями на опытной установке химических процессов на термостойком катализаторе, консультируясь при этом со специалистами из ИК по режиму работы установки, а также совместно обсуждая полученные результаты [4, 13]. В результате чего была показана возможность обезвреживания большого количества отходов СПО «Азот» [19, 20]. Вскоре Бердянский завод «Стеклопластик» (Украина) построил крупную установку по каталитическому обезвреживанию отходов, которые сжигали в специальных печах, но при этом загрязняя атмосферу.

С 1984 г. возникли некоторые проблемы с доставкой катализатора из ИК в СФ ГИАП для продолжения исследований на промышленной площадке. Поэтому работы по развитию направления каталитических генераторов тепла были приостановлены. С того момента сотрудники СФ ГИАП самостоятельно стали решать задачу о возможности продолжения исследований по технологии каталитических генераторов тепла и выхода ее на эффективные промышленные масштабы. Результатом интенсификации технологии КГТ послужило создание новой перспективной технологии AnC.

### 5. Материалы и методы исследований

Для анализа каталитической технологии, использующей гетерогенный катализатор на носителе, были взяты во внимание научно-исследовательские работы по изучению и исследованию свойств катализаторов и носителей для них, выполненные сотрудниками ИК [21]. Для обоснования и описания нового решения и новой

перспективной технологии аэрозольного нанокатализа использовались собственные авторские результаты научных исследований и обсуждений. Анализ полученных результатов сравнивали с научными исследованиями других ученых в области каталитических процессов органических соединений и нефтепереработки [22, 23].

### 6. Результаты исследований

В результате исследований была отмечена специальная механическая обработка поверхности частиц катализатора (ИК-12-70 ( $\text{CuCr}_2\text{O}_4/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), поставляемого ИК), что обеспечивало сырьевым потокам равномерное движение в зоне реакции.

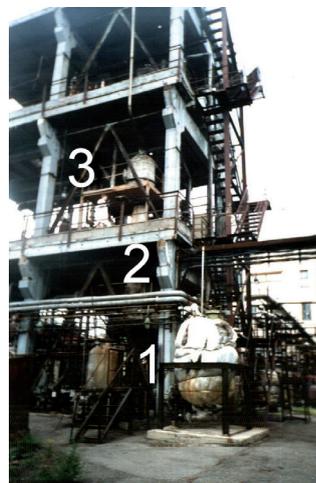
Результатирующие обсуждения информационного материала привели к созданию новой перспективной технологии — Аэрозольный катализ (АС) — что и показывают результаты исследований в табл. 1 [9].

Методом фотокорреляционной спектроскопии специалистами из Голландии были измерены размеры частиц катализатора в рабочем режиме установки АС, (в верхней части реактора) [24]. После этого название технологии было уточнено и технологию уточнили до Аэрозольный нанокатализ (АпС). В условиях новой технологии получают каталитически активные частицы размером 8–100 нм, что увеличивает поверхность катализатора и скорость реакции.

Опытная установка (рис. 1) представляет собой узел подачи исходных реагентов, каталитический реактор с псевдооживленным слоем и узел улавливания частиц катализатора и возврата его в реактор.

Исследованы процессы глубокого окисления кислородом воздухом различных типов отходов в условиях механического взаимодействия каталитически активных частиц без носителя с твердым материалом (стеклянные или стальные шарики размером 1–2 мм).

- гарантированный рост скорости целевой реакции, экспериментально доказанный на опытной установке, подтверждают целесообразность внедрения АпС в промышленность;
- снижение температуры химических процессов, реализованных в промышленности, на  $\sim 200^\circ\text{C}$  и концентрации катализатора в реакторе до  $1\text{--}10\text{ г/м}^3$  реактора [26];
- снижение загрузки катализатора в  $10^4$  раз в сравнении технологией катализа, использующего катализатор на носителе.



**Рис. 1.** Фото опытной установки на Северодонецком ПО «Азот»: 1 — узел подачи исходных реагентов; 2 — каталитический реактор с псевдооживленным слоем; 3 — узел улавливания и возврата катализатора

В работе [27] показано, что при  $570^\circ\text{C}$  и концентрации промышленного катализатора Nexus-345p  $2\text{ г/м}^3$  реактора экспериментально достигнут выход  $72,9\%$  светлых нефтепродуктов (бензиновая и дизельная фракции). Данный показатель на  $14\%$  выше, чем в лифт-реакторе каталитического промышленного крекинга [10]. В промышленности концентрация катализатора  $\sim 1\text{ т/м}^3$  реактора, а концентрация каталитически активного материала  $\sim 300\text{ кг/м}^3$ .

**Таблица 1**

Результаты глубокого окисления уксусной кислоты разными типами катализа

Катализатор	Технология	Предельная нагрузка по уксусной кислоте		Содержание кислоты % масс.	Производительность кг/(м <sup>3</sup> реакт. *ч)	Концентрация активного компонента кг/(м <sup>3</sup> реакт. *ч)
		кг/(м <sup>3</sup> реакт. *ч)	кг/(кг <sub>кисл.</sub> *ч)			
Pt/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	Традиционный катализ	$1,5 \cdot 10^3$	1,5	98	1000	4
CuCrO <sub>4</sub> / $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$		$0,8 \cdot 10^3$	0,8	98	533	200
		$0,65 \cdot 10^3$	0,65	60	433	200
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	АпС	$0,37 \cdot 10^3$	0,37	30	247	200
		$1,7 \cdot 10^9$	$3,6 \cdot 10^4$	60	115	$3,2 \cdot 10^{-3}$
		$1,3 \cdot 10^9$	$2,6 \cdot 10^4$	30	65	$2,5 \cdot 10^{-3}$

По результатам научных исследований различных химических превращений были выведены особенности технологии Аэрозольного нанокатализа. К ним относятся:

- наличие энергии материальных потоков, входящих в реактор, является достаточной для активации химического взаимодействия реагентов;
- обеспечение равнодоступности реагентов к поверхности катализатора. На наличие этого фактора указывают работы ученых-специалистов в области химии и технологии [25];
- измельчение и активация катализатора, реагентов и их поверхности;

### 7. SWOT-анализ результатов исследований

Предлагаемая технология аэрозольного нанокатализа является новой перспективной технологией в химической и нефтеперерабатывающей промышленности. Рассмотрим ее основные характеристики.

**Strengths.** Применение данной технологии позволяет увеличить скорость реакции и уменьшить расход катализатора в  $10^4\text{--}10^6$  раз по сравнению с катализатором на носителе; увеличить производительность на объем реактора в  $10^3$  раз; отсутствуют выбросы токсичных веществ в атмосферу и окружающую среду; снизить температурный режим на  $100\text{--}200^\circ\text{C}$ ; использовать энергию сырьевых потоков.

**Weaknesses.** Существуют трудности в создании реактора с псевдооживленным слоем в промышленном масштабе.

**Opportunities.** Планируется исследование и проведение целевых синтезов химических процессов органических соединений.

нических, неорганических, полимерных и нефтеперерабатывающих материалов в условиях технологии AnC. Продолжить изучение кинетики химических превращений в условиях технологии.

**Threats.** Аналогов технологии в мировой практике пока не существует. Отрицательными факторами может служить отсутствие развития украинских предприятий, особенно химических и нефтеперерабатывающих областей; постоянно изменяющийся экономический фактор развития страны усложняет для НИИ внедрение научных разработок в химическую и нефтеперерабатывающую промышленность.

## 8. Выводы

1. После многочисленных исследований различных химических превращений в условиях технологии аэрозольного нанокатализа выяснено следующее:

— для полноценной работы реактора каталитическая система должна состоять из диспергирующего материала и катализатора. В качестве диспергирующего материала могут выступать стеклянные шарики размером 1–2 мм;

— согласно кинетическим исследованиям химических превращений в реакционной зоне создается механохимактивационный режим *in situ*. Этот режим позволяет поддерживать поверхность катализатора постоянно активной;

— успешно осуществлены процессы глубокого и парциального окисления, хлорирования и дегидрохлорирования [28], винилирования органических и неорганических веществ, а также процессы крекинга и нефтепереработки [29], окисление аммиака до оксидов азота и обезвреживание глубоким окислением соединений связанного азота [30], синтез этилена из углеводородов [27, 29];

— осуществление переработки вакуумного газойля с получением бензиновой фракции до 72,9 % [31]

— на первом целевом промышленном процессе в условиях AnC — каталитическое окисления аммиака — было проведено сравнение основных параметров и характеристик процесса. Оказалось, что технология AnC успешнее существующей технологии катализа на носителе, т. к. она используют в качестве катализатора  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с концентрацией катализатора  $5 \text{ г/м}^3$  [30], вместо платины, концентрацией  $200 \text{ кг/м}^3$ . Также установлено, что скорость реакции увеличивается в  $10^4$ – $10^5$  раз; оптимальная концентрация катализатора в зоне реакции уменьшается до  $0,3$ – $10,0 \text{ г/м}^3$  объема реактора; объем реактора снижается в  $\approx 10$  раз.

2. Выяснено, что для полного химического превращения органических и неорганических соединений достаточно энергии, вносимой в реактор сырьевыми потоками.

3. На базе полученных результатов лабораторных исследований были разработаны, построены и успешно запущены в эксплуатацию 4 опытных установки технологии AnC:

— опытный завод института «Химтехнология» на территории ПО «АЗОТ» (г. Северодонецк, Украина) — отработана на процессах окисления отходов предприятия;

— ООО «Щекиноазот» (г. Щекино, Россия) — эксплуатировали на процессах обезвреживания сточных вод производства капролактама;

— фирма «Кататор» (г. Лунд, Швеция) — осуществляла процесс обезвреживания бытовых отходов, в том числе пищевых;

— ЗАО «Саянскимпласт» (г. Саянск, Россия) — эксплуатация на процессах утилизации отходов производства винилхлорида с возвратом хлористого водорода в цикл производства.

## Литература

- Satterfield, C. Heterogeneous Catalysis in Practice [Text] / C. Satterfield. — McGraw-Hill, 1980. — 416 p.
- Крылов, О. В. Гетерогенный катализ [Текст] / О. В. Крылов. — М.: Академкнига, 2004. — 679 с.
- Гликин, М. А. Эффективность и взрывобезопасность процессов химической технологии [Текст] / М. А. Гликин. — Киев: Принт Экспресс, 2000. — 390 с.
- Пармон, В. Н. Академик Георгий Константинович Боресков. Очерки, материалы, воспоминания [Текст] / под ред. акад. В. Н. Пармона. — Новосибирск: ИК СО РАН, 1997. — 460 с.
- Гликин, М. А. Влияние химических реакций на взрывоопасность технологической среды [Текст] / М. А. Гликин // Теоретические основы химической технологии. — 1980. — Т. 14, № 5. — С. 770–772.
- Боресков, Г. К. Гетерогенный катализ [Текст] / Г. К. Боресков. — М.: Наука, 1986. — 304 с.
- Anderson, R. B. Experimental Methods in Catalytic Research [Text] / by ed. R. B. Anderson. — New York and London: Academic Press, 1968. — 498 p. doi:10.1016/c2013-0-06162-2
- Kiperman, S. L. Kinetic models of heterogeneous catalytic reactions (review) [Text] / S. L. Kiperman // Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR Division of Chemical Science. — 1991. — Vol. 40, № 12. — P. 2350–2365. doi:10.1007/bf00959702
- Гликин, М. А. Аэрозольный катализ [Текст] / М. А. Гликин // Теоретические основы химической технологии. — 1996. — Т. 30, № 4. — С. 430–435.
- Способ осуществления газофазных химических процессов (аэрозольный катализ): пат. 2081695 Рос. Федерация, МКИ В 01 J 8/08, 8/32 / Гликин М. А. (UA), Пихтовников Б. И. (RU), Новицкий В. С. (UA), Мемедьяев З. Н. (UA), Кутакова Д. А. (UA), Вискс И. Н. (UA), Принь Е. М. (UA); заявитель и патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «Нитрохим». — № 94011388; заявл. 01.04.1994; опубл. 20.06.1997, Бюл. № 17. — 7 с.
- Боресков, Г. К. Сжигание топлив и каталитические генераторы тепла [Текст] / Г. К. Боресков, Э. А. Левицкий, З. Р. Исмагилов // Российский химический журнал. — 1984. — Т. XXIX, № 4. — С. 19–25.
- Ismagilov, Z. R. Catalytic heat generators for technological processes [Text] / Z. R. Ismagilov, G. K. Borekov, E. A. Levitskii // Kagaki to Kogyo. — 1985. — Vol. 38, № 3. — P. 262.
- Левицкий, Э. Я. Ликвидация вредных веществ в газовых выбросах при каталитическом сжигании сточных вод [Текст]: тез. докл. III Всесоюзной конф. «Каталитическое окисление газов» / Э. Я. Левицкий, М. А. Гликин, Д. А. Кутакова и др. — Новосибирск, 1981. — С. 157–160.
- Borekov, G. K. Unsteady-State Performance of Heterogeneous Catalytic Reactions [Text] / G. K. Borekov, Y. S. Matros // Catalysis Reviews. — 1983. — Vol. 25, № 4. — P. 551–590. doi:10.1080/01614948308078056
- Исмагилов, З. Р. Исследование реакций и катализаторов сжигания топлив. IV. Генезис фазового состава нанесенных оксидных алюмомеднохромовых катализаторов [Текст] / З. Р. Исмагилов, Д. А. Арндарский, О. А. Кириченко, Г. Б. Баранник, Э. М. Мороз, В. А. Ушаков // Кинетика и катализ. — 1989. — Т. 30, Вып. 4. — С. 918–926.
- Мороз, Э. М. Дисперсность и состав термообработанных алюмоплатиновых катализаторов [Текст] / Э. М. Мороз, В. А. Ушаков, Г. Р. Космамбетова, А. П. Шепелин, Э. А. Левицкий // Кинетика и Катализ. — 1988. — Т. 29, № 6. — С. 1446–1451.
- Пармон, В. Н. Каталитическое сжигание: достижения и проблемы [Текст] / В. Н. Пармон, А. Д. Симонов, В. А. Садыков, С. Ф. Тихов // Физика горения и взрыва. — 2015. — Т. 51, № 2. — С. 5–13.

18. Носков, А. С. Каталитические технологии для расширения топливно-сырьевой базы России за счет нетрадиционных источников углеродсодержащего сырья [Текст] / А. С. Носков, В. Н. Пармон // Газохимия. — 2008. — № 2 (1). — С. 20–24.
19. Тюльпинов, А. Д. Предельные условия гомогенного горения в каталитических генераторах тепла [Текст]: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / А. Д. Тюльпинов; МИТХТ им. М. В. Ломоносова. — М., 1986. — 18 с.
20. Кутакова, Д. А. Глубокое окисление промышленных отходов в каталитических генераторах тепла [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.17.04 / Д. А. Кутакова. — М., 1987. — 172 с.
21. Ермаков, Ю. И. Закрепленные комплексы на окисных носителях в катализе [Текст] / Ю. И. Ермаков, В. А. Захаров, Б. Н. Кузнецов. — Новосибирск: СО Наука, 1980. — 248 с.
22. Хімач, Н. Ю. Наноструктуровані каталізатори [Текст] / Н. Ю. Хімач, Є. В. Полункін // Катализ и нефтехимия. — 2012. — № 21. — С. 86–98.
23. Патриляк, К. И. Теория Дж. А. Ола и гетерогенный катализ [Текст] / К. И. Патриляк, Л. К. Патриляк // Катализ и нефтехимия. — 2012. — № 20. — С. 6–21.
24. Glikin, M. Unsteady processes and aerosol catalysis [Text] / M. Glikin, D. Kutakova, E. Prin // Chemical Engineering Science. — 1999. — Vol. 54, № 20. — P. 4337–4342. doi:10.1016/S0009-2509(99)00133-5
25. Франк-Каме́нецкий, Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике [Текст] / Д. А. Франк-Каме́нецкий. — М.: Наука, 1967. — 502 с.
26. Глікіна, І. М. Основи технології аерозольної нанокаталітичної переробки органічних сполук у віброрідженому шарі [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.04 / І. М. Глікіна; НУ Львівська політехніка. — Львів, 2005. — 162 с.
27. Кудрявцев, С. А. Основы технологии получения бензиновой фракции и этилена аэрозольным нанокатализом [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.17.07 / С. А. Кудрявцев; НУ Львівська політехніка. — Львів, 2006. — 154 с.
28. Рязанцев, О. І. Методи та програмно-технічні засоби автоматизації керування процесом аерозольного нанокаталізу [Текст] / О. І. Рязанцев, В. С. Кардашук // Радіоелектроніка, інформатика, управління. — 2011. — № 1. — С. 164–171.
29. Гликин, М. А. Гетерогенный катализ на пористой структуре и в аэрозоле [Текст] / М. А. Гликин, Д. А. Кутакова, Е. М. Принь, И. М. Гликина, А. И. Волга // Катализ и нефтехимия. — 2000. — № 5–6. — С. 92–101.
30. Принь, Е. М. Аэрозольный катализ и его применение в окислении аммиака и обезвреживании соединений связанного азота [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.17.01 / Е. М. Принь; НТУ «ХПИ». — Харьков, 2002. — 156 с.
31. Кашеев, А. С. Исследование активности Si/Zr катализатора в процессе крекинга вакуумного газойля аэрозольным нано-

катализом [Текст] / А. С. Кашеев, И. М. Гликина, С. А. Кудрявцев, Б. Б. Мамедов // Вопросы химии и химической технологии. — 2012. — № 1. — С. 85–89.

#### **ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИРОБНИЦТВ ПО ТЕХНОЛОГІЇ АЕРОЗОЛЬНОГО НАНОКАТАЛІЗУ З МЕХАНОАКТИВАЦІЄЮ ЧАСТИНОК КАТАЛІЗАТОРА**

Відзначена та проаналізована проблема гетерогенно-каталітичних процесів, що гальмує розвиток хімічної та нафтопереробної промисловості. Цією проблемою є недостатня міцність і термостійкість каталізаторів на носії. Рішенням цього є ціла наука, пов'язана з виробництвами носіїв каталізаторів, що позначається і на вартості каталізаторів в цілому. Запропоновано вирішення цього питання — нова перспективна технологія аерозольного нанокаталізу, що дозволяє ефективно розвивати промисловість України.

**Ключові слова:** аерозольний нанокатализ, механоактивація, гетерогенний катализатор, міцність та термостійкість поверхні.

*Гликин Марат Аронович, доктор технических наук, профессор, кафедра химической инженерии и экологии, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк, Украина.*

*Кудрявцев Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра химической инженерии и экологии, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк, Украина.*

*Гликина Ирина Маратовна, доктор технических наук, доцент, кафедра химической инженерии и экологии, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк, Украина, e-mail: irene555@mail.ru.*

*Глікін Марат Аронович, доктор технічних наук, професор, кафедра хімічної інженерії та екології, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Северодонецьк, Україна.*

*Кудрявцев Сергій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра хімічної інженерії та екології, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Северодонецьк, Україна.*

*Глікіна Ірина Маратівна, доктор технічних наук, доцент, кафедра хімічної інженерії та екології, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Северодонецьк, Україна.*

*Glikin Marat, Vladimir Dale Eastern Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine.*

*Kudryavtsev Sergey, Vladimir Dale Eastern Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine.*

*Glikina Irene, Vladimir Dale Eastern Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine, e-mail: irene555@mail.ru*