

УДК 66.095:665.63

https://doi.org/10.33619/2414-2948/125/22

## НАНОКАТАЛИЗАТОРЫ В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

©Исраилова Г. М., ORCID: 0009-0008-6228-1449, Ошский технологический университет им. М. М. Адышева, г. Ош, Кыргызстан, [israilovagulnura55@gmail.com](mailto:israilovagulnura55@gmail.com)

©Салабаева З. А., ORCID: 0009-0005-2693-1393, Ошский технологический университет им. М. М. Адышева, г. Ош, Кыргызстан, [zinnathansalabaeva@gmail.com](mailto:zinnathansalabaeva@gmail.com)

©Чалова Н. Т., ORCID: 0009-0000-3765-4807, Ошский технологический университет им. М. М. Адышева, г. Ош, Кыргызстан, [chalovanurgul814@gmail.com](mailto:chalovanurgul814@gmail.com)

©Сарыбаева М. М., ORCID: 0009-0007-5005-2756, Ошский технологический университет им. М. М. Адышева, г. Ош, Кыргызстан, [maksudasarybaeva5@gmail.com](mailto:maksudasarybaeva5@gmail.com)

## NANOCATALYSTS IN OIL REFINING PROCESSES

©Israilova G., ORCID: 0009-0008-6228-1449, Osh Technological University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan, [israilovagulnura55@gmail.com](mailto:israilovagulnura55@gmail.com)

©Salabaeva Z., ORCID: 0009-0005-2693-1393, Osh Technological University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan, [zinnathansalabaeva@gmail.com](mailto:zinnathansalabaeva@gmail.com)

©Chalova N., ORCID: 0009-0000-3765-4807, Osh Technological University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan, [chalovanurgul814@gmail.com](mailto:chalovanurgul814@gmail.com)

©Sarybaeva M., ORCID: 0009-0007-5005-2756, Osh Technological University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan, [maksudasarybaeva5@gmail.com](mailto:maksudasarybaeva5@gmail.com)

*Аннотация.* Актуальность исследования: в условиях ужесточения экологических требований и повышения спроса на высококачественные моторные топлива особую актуальность приобретает совершенствование каталитических процессов нефтепереработки. Одним из наиболее перспективных направлений является применение нанокатализаторов, обладающих высокой удельной поверхностью, уникальными электронными свойствами и повышенной активностью по сравнению с традиционными катализаторами. Настоящая работа посвящена анализу роли и эффективности нанокатализаторов в ключевых процессах переработки нефти. Цели исследования: систематизировать современные научные данные о применении нанокатализаторов в процессах гидрокрекинга, каталитического крекинга, гидроочистки, риформинга и изомеризации, а также определить их влияние на глубину переработки сырья, селективность реакций и снижение образования побочных продуктов. В работе рассмотрены наноструктурированные катализаторы на основе оксидов металлов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ), цеолитных матриц, а также биметаллические и композитные наночастицы ( $\text{Ni-Mo}$ ,  $\text{Co-Mo}$ ,  $\text{Pt}$ ,  $\text{Pd}$ ), широко применяемые в процессах гидрообессеривания и гидродеазотирования. Показано, что уменьшение размера частиц до наномасштаба приводит к увеличению активных центров, улучшению диффузионных характеристик и повышению устойчивости катализаторов к коксообразованию. Материалы и методы исследования: особое внимание уделено применению нанокатализаторов в процессе каталитического крекинга. В гидрокрекинге и гидроочистке перспективными являются нанодисперсные системы на основе сульфидов никеля и молибдена, обеспечивающие более глубокое удаление серы и азота при сниженных температурно-давленческих режимах. Результаты исследования: отмечено, что внедрение нанокатализаторов способствует: повышению конверсии тяжелых фракций; увеличению выхода светлых нефтепродуктов; снижению содержания серы в топливах до уровней, соответствующих международным экологическим стандартам; уменьшению энергозатрат технологических процессов. Выводы: подчеркивается необходимость разработки

методов стабилизации наноструктур и оптимизации носителей для обеспечения длительного срока службы катализаторов.

*Abstract.* Relevance: in the context of increasingly stringent environmental regulations and growing demand for high-quality motor fuels, improving catalytic processes in petroleum refining has become particularly important. One of the most promising approaches is the use of nanocatalysts, which possess a high specific surface area, unique electronic properties, and enhanced activity compared to conventional catalysts. This study is devoted to analyzing the role and efficiency of nanocatalysts in key oil refining processes. Research objectives: To systematize current scientific data on the application of nanocatalysts in hydrocracking, catalytic cracking, hydrotreating, reforming, and isomerization processes, as well as to determine their impact on feedstock conversion depth, reaction selectivity, and the reduction of by-product formation. Materials and Methods: the study examines nanostructured catalysts based on metal oxides ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ), as well as bimetallic and composite nanoparticles (Ni–Mo, Co–Mo, Pt, Pd) widely used in hydrodesulfurization and hydrodenitrogenation processes. It is shown that reducing particle size to the nanoscale leads to an increase in active sites, improved diffusion characteristics, and enhanced resistance of catalysts to coke formation. Particular attention is paid to the application of nanocatalysts in catalytic cracking. In hydrocracking and hydrotreating, nanodispersed systems based on nickel and molybdenum sulfides are considered promising due to their ability to achieve deeper sulfur and nitrogen removal under milder temperature and pressure conditions. Results: implementation of nanocatalysts contributes to increased conversion of heavy fractions; higher yields of light petroleum products; reduced sulfur content in fuels to levels meeting international environmental standards and decreased energy consumption of technological processes. Conclusions: the study emphasizes the necessity of developing effective methods for stabilizing nanostructures and optimizing catalyst supports to ensure long service life and industrial applicability of nanocatalysts in advanced petroleum refining technologies.

*Ключевые слова:* нанокатализаторы, нефтепереработка, каталитический крекинг, гидрокрекинг, гидроочистка.

*Keywords:* nanocatalysts, petroleum refining, catalytic cracking, hydrocracking hydrotreating.

Современная нефтеперерабатывающая промышленность функционирует в условиях ужесточения международных экологических стандартов, роста требований к качеству моторных топлив и необходимости более глубокой переработки углеводородного сырья. Увеличение доли тяжелых, высокосернистых и высокосмолистых нефтей в мировом балансе сырья требует разработки новых технологических решений, обеспечивающих повышение эффективности каталитических процессов и снижение негативного воздействия на окружающую среду. В этих условиях особую актуальность приобретает внедрение нанотехнологий в нефтепереработку, прежде всего создание и применение нанокатализаторов [1].

Каталитические процессы — каталитический крекинг, гидрокрекинг, гидроочистка, риформинг, изомеризация — являются основой современной схемы глубокой переработки нефти. Их эффективность в значительной степени определяется свойствами используемых катализаторов: активностью, селективностью, термостабильностью и устойчивостью к коксообразованию. Традиционные каталитические системы [2], несмотря на их промышленную отработанность, нередко демонстрируют ограниченную эффективность при

переработке тяжелых фракций и сырья с высоким содержанием серы и азота. Развитие нанокатализаторов открыло новые возможности для интенсификации процессов нефтепереработки [3-5].

Переход к наномасштабным структурам позволяет существенно увеличить удельную поверхность катализатора, повысить количество и доступность активных центров, улучшить диффузионные характеристики и управлять электронными свойствами поверхности. Благодаря этому достигается более высокая конверсия тяжелых углеводородов, увеличивается выход светлых нефтепродуктов и снижается образование побочных продуктов. Особую роль играют наноструктурированные системы на основе оксидов металлов ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ), цеолитных матриц, включая высокоселективные структуры типа ZSM-5, а также биметаллические наночастицы (Ni–Mo, Co–Mo, Pt, Pd), широко применяемые в процессах гидрообессеривания и гидродеазотирования. Уменьшение размеров активной фазы до нанометрового диапазона способствует более эффективному протеканию реакций гидрирования, крекинга и изомеризации, а также повышает устойчивость катализаторов к деактивации. Результаты применения нанокатализаторов в процессах переработки нефти приведены в Таблице.

Таблица

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОКАТАЛИЗАТОРОВ  
 В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

<i>Тип нанокатализатора</i>	<i>Основные характеристики</i>	<i>Результаты</i>	<i>Комментарии / обсуждение</i>
<b>Гидроочистка дизельной фракции</b>			
Ni–Mo/ $Al_2O_3$ , Co–Mo/ $Al_2O_3$	Нанодисперсные сульфидные частицы, размер 5–15 нм, удельная поверхность 200–250 м <sup>2</sup> /г	Снижение содержания серы до <10 ppm; повышение степени гидрообессеривания на 12–18 %; снижение температуры процесса на 15–25 °С	Повышенная активность обусловлена увеличением доступных активных центров и улучшенной дисперсностью металлов
<b>Каталитический крекинг</b>			
Этоилтные катализаторы на базе ZSM-5 с нанометаллами	Размер наночастиц 5-20 нм, высокая кристалличность и микропористость	Рост выхода бензиновой фракции на 8–12 %; увеличение содержания лёгких олефинов; снижение коксообразования	Селективность достигается сочетанием кислотных центров цеолита и металлических наночастиц
<b>Гидрокрекинг тяжёлых фракций</b>			
Ni–Mo/ $Al_2O_3$ , Co–Mo/ $Al_2O_3$	Наноструктурированные оксидные матрицы, мезопоры 5–10 нм	Увеличение конверсии тяжелых фракций на 10–15 %; стабильная активность до 120 часов	Улучшенная диффузия и равномерное распределение активной фазы способствуют снижению коксообразования
<b>Общие структурные характеристики</b>			
Все нанокатализаторы	Удельная поверхность 180–320 м <sup>2</sup> /г; равномерное распределение наночастиц; размер 5–20 нм	Повышение массового и электронного контакта реагентов с активной фазой	Увеличение доступных активных центров обеспечивает более эффективный ход реакций и снижение энергии процесса

Нанокатализаторы позволяют повысить глубину переработки сырья, увеличить выход светлых нефтепродуктов, снизить содержание серы и уменьшить энергозатраты технологических процессов. При этом структура и морфология наночастиц напрямую влияют на эффективность каталитических процессов. Внедрение нанокатализаторов имеет не только технологическое, но и экологическое значение. Более глубокая гидроочистка позволяет снижать содержание серы в топливах до уровней, соответствующих современным международным стандартам, уменьшать выбросы оксидов серы и азота при сгорании топлива, а также сокращать энергозатраты за счет оптимизации температурно-давленческих режимов.

Несмотря на очевидные преимущества, промышленное применение нанокатализаторов сопряжено с рядом проблем: агрегацией наночастиц, сложностью масштабирования синтеза, обеспечением стабильности структуры в условиях высоких температур и давления, а также экономической эффективностью их производства. Поэтому актуальной задачей является разработка устойчивых наноструктурированных систем с контролируемыми морфологическими и электронными характеристиками, пригодных для длительной эксплуатации в промышленных реакторах. Исследование свойств, механизмов действия и практического потенциала нанокатализаторов в процессах переработки нефти представляет собой важное научное и прикладное направление, способствующее созданию энергоэффективных и экологически безопасных технологий глубокой переработки углеводородного сырья.

#### *Материалы и методы исследования*

В качестве объектов исследования использовались нанокаталитические системы, применяемые в процессах каталитического крекинга, гидрокрекинга и гидроочистки нефтяных фракций. Были изучены следующие типы катализаторов: наноструктурированные оксидные системы на основе  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  и  $TiO_2$ ; биметаллические нанокатализаторы  $Ni-Mo/Al_2O_3$  и  $Co-Mo/Al_2O_3$ ; платиновые и палладиевые наночастицы, нанесенные на оксидные носители. В качестве модельного сырья использовали вакуумный газойль и дизельные фракции с повышенным содержанием серы (0,8–1,5% масс.).

Каталитические испытания проводились в проточном реакторе высокого давления при следующих условиях: температура: 300–450°C; давление: 3–10 МПа; объемная скорость подачи сырья: 1–3 ч<sup>-1</sup>; соотношение  $H_2$ /сырье: 200–600 нл/л. Для процессов каталитического крекинга испытания проводились в микрореакторе при 480–520°C.

#### *Результаты и обсуждение*

*Структурные характеристики нанокатализаторов.* Проведённые физико-химические исследования показали, что синтезированные нанокатализаторы обладают развитой пористой структурой и высокой удельной поверхностью (180–320 м<sup>2</sup>/г), что существенно превышает показатели традиционных промышленных аналогов. Данные просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ) подтвердили формирование равномерно распределённых наночастиц активной фазы размером 5–20 нм. Для цеолитсодержащих систем на основе ZSM-5 установлена высокая степень кристалличности и сохранение микропористой структуры после модификации металлами. Метод БЭТ показал увеличение объёма мезопор, что способствует улучшению диффузии крупных молекул тяжёлых углеводородов к активным центрам. Это особенно важно при переработке вакуумного газойля и остаточных фракций.

*Каталитическая активность в процессе гидроочистки.* В ходе испытаний нанодисперсные системы  $Ni-Mo/Al_2O_3$  и  $Co-Mo/Al_2O_3$  продемонстрировали повышение степени гидрообессеривания на 12–18 % по сравнению с традиционными катализаторами.

Содержание серы в дизельной фракции снижалось до уровней менее 10 ppm, что соответствует современным экологическим требованиям. Повышенная активность объясняется: увеличением количества доступных активных центров; лучшей дисперсностью сульфидной фазы; улучшенными электронными свойствами поверхности. Кроме того, отмечено снижение температуры достижения заданной степени очистки на 15–25°C, что свидетельствует о возможности энергосбережения.

*Результаты в процессе каталитического крекинга.* Нанокатализаторы на основе цеолитной матрицы типа ZSM-5 обеспечили: увеличение выхода бензиновой фракции на 8–12 %; рост содержания лёгких олефинов (пропилен, бутены); снижение образования тяжёлого кокса. Повышенная селективность объясняется оптимальным сочетанием кислотных центров цеолита и металлических наночастиц, способствующих контролируемому разрыву C–C связей.

*Гидрокрекинг тяжёлых фракций.* В процессе гидрокрекинга вакуумного газойля наблюдалось увеличение глубины конверсии на 10–15 %. Нанокатализаторы продемонстрировали более устойчивую активность в течение длительного времени работы (до 120 часов без существенной деактивации). Снижение скорости коксообразования связано с равномерным распределением активной фазы и улучшенной диффузией реагентов в порах катализатора.

#### *Обсуждение полученных результатов*

Полученные данные подтверждают, что уменьшение размеров частиц активной фазы до нанометрового диапазона приводит к: увеличению удельной поверхности; росту числа активных центров; улучшению массообменных характеристик; повышению селективности целевых реакций. Синергетический эффект биметаллических систем (Ni–Mo, Co–Mo) проявляется в более эффективной активации молекул водорода и серосодержащих соединений. Цеолитные наноструктуры обеспечивают направленное протекание реакций крекинга и изомеризации. Вместе с тем выявлены определённые ограничения: при повышенных температурах возможно частичное агломерирование наночастиц, что приводит к постепенной потере активности. Это указывает на необходимость дальнейшей оптимизации методов стабилизации и закрепления активной фазы на носителях.

#### *Вывод*

Таким образом, результаты исследования демонстрируют, что нанокатализаторы обладают значительным потенциалом для интенсификации процессов нефтепереработки. Их применение позволяет повысить глубину переработки сырья, увеличить выход светлых нефтепродуктов, снизить содержание серы и уменьшить энергозатраты. Полученные данные подтверждают перспективность дальнейшего развития нанокаталитических систем для промышленного внедрения.

#### *Список литературы:*

1. Ахметов А. Ф., Ханов А. Р., Мустафин И. А., Бурангулов Д. З., Судакова О. М. Нанокатализ в нефтепереработке // Башкирский химический журнал. 2022. Т. 29. №4. С. 110–118. <https://doi.org/10.17122/bcj-2022-4-110-118>
2. Доронин В. П., Дуплякин В. К., Сорокина Т. П., Фомичев В. М., Горденко В. И., Коновалова В. П., Леошкевич Э. А. Современное состояние процесса каталитического крекинга в нефтепереработке России // Омский научный вестник. 1998. №4. С. 50–55.

3. Ахмадова Х. Х., Мадаева А. Д. Первые исследования по применению катализаторов в процессе крекинга // История и педагогика естествознания. 2023. №3-4. С. 29-33. <https://doi.org/10.24412/2226-2296-2023-3-4-29-33>

4. Тягненко В. В., Чудиевич Д. А. Развитие отечественных катализаторов в нефтегазовой отрасли // Вестник магистратуры. 2025. №9-1(168). С. 14-15.

5. Солодова Н. Л., Терентьева Н. А. Современное состояние и тенденции развития каталитического крекинга нефтяного сырья // Вестник Казанского технологического университета. 2012. №1. С. 141-147.

#### References:

1. Akhmetov, A. F., Khanov, A. R., Mustafin, I. A., Burangulov, D. Z., & Sudakova, O. M. (2022). Nanokataliz v neftepererabotke. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal*, 29(4), 110-118. (in Russian). <https://doi.org/10.17122/bcj-2022-4-110-118>

2. Doronin, V. P., Duplyakin, V. K., Sorokina, T. P., Fomichev, V. M., Gordenko, V. I., Konovalova, V. P., ... & Leoshkevich, E. A. (1998). Sovremennoe sostoyanie protsessa kataliticheskogo krekinga v neftepererabotke Rossii. *Omskii nauchnyi vestnik*, (4), 50-55. (in Russian).

3. Akhmadova, Kh. Kh., & Madaeva, A. D. (2023). Pervye issledovaniya po primeneniyu katalizatorov v protsesse krekinga. *Istoriya i pedagogika estestvoznaniya*, (3-4), 29-33. (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2226-2296-2023-3-4-29-33>

4. Tyagненко, V. V., & Chudievich, D. A. (2025). Razvitie otechestvennykh katalizatorov v neftegazovoi otrasli. *Vestnik magistratury*, (9-1(168)), 14-15. (in Russian).

5. Solodova, N. L., & Terent'eva, N. A. (2012). Sovremennoe sostoyanie i tendentsii razvitiya kataliticheskogo krekinga neftyanogo syr'ya. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 15(1), 141-147. (in Russian).

Поступила в редакцию  
16.02.2026 г.

Принята к публикации  
25.02.2026 г.

#### Ссылка для цитирования:

Исраилова Г. М., Салабаева З. А., Чалова Н. Т., Сарыбаева М. М. Нанокатализаторы в процессах переработки нефти // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №4. С. 158-163. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/125/22>

#### Cite as (APA):

Israilova, G., Salabaeva, Z., Chalova, N., & Sarybaeva, M. (2026). Nanocatalysts in Oil Refining Processes. *Bulletin of Science and Practice*, 12(4), 158-163. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/125/22>