

ХАБИЛИТАЦИОННА АВТОРСКА СПРАВКА ЗА НАУЧНИТЕ ПРИНОСИ ОТ ПУБЛИКАЦИИТЕ НА ГЛ.АС. Д-Р СТАНИСЛАВА МЕТОДИЕВА АНДОНОВА

представени за участие в конкурс за заемане на академична длъжност "доцент", по професионално направление 4.2. "Химически науки" и научна специалност "Химична кинетика и катализ", за лаборатория „Реактивност на твърди повърхности“ на ИОНХ, обявен в Държавен вестник, бр. 36 от 3.05.2019 г.

Общият брой публикации на кандидата е 32, от които 27 са включени в базата данни на ISI (**Scopus/Web of Science**). Кандидатът участва в конкурса с 22 публикации, като 20 от тях са в базата данни на ISI (15 от тях са в Q1, 4 в Q2 и една публикация е заявка за патент. Допълнително кандидата участва и с две публикувани заявки за патент [15,16] включени в базата данни на <http://www.patentbuddy.com>.

Кандидатът във всички публикации включени в хабилитационния труд [1-9] е посочен като първи автор, а в една от тях и като автор за кореспонденция. Останалите 13 публикации [10-22] са включени в извън хабилитационния труд. Общият брой на забелязаните цитати (без автоцитати на всички автори) е 384, като 315 са от базата данни на ISI и 69 цитата са от други източници (**Google Scholar**). Забелязаните цитати от базата данни на ISI върху публикациите участващи в конкурса са 215. Индексът по Хирш (H) на кандидата въз основа на всички публикации, включени в базата данни на ISI (без автоцитати на всички автори) е 11.

Трудовете, представени от кандидата за участие в конкурса [1-22], са посветени на фундаментални и приложни изследвания фокусирани върху разработването и използването на нови материали, като катализатори за опазване на околната среда. По конкретно, изследванията са в направление свързано с разработването на нови по-ефективни и перспективни катализатори, използвани в различни технологии на автомобилната индустрия за контролиране на замърсяванията на атмосферния въздух с емисии от азотни оксиди (NO_x).

С оглед на специфичните цели на проведените от кандидата изследвания, трудовете в хабилитационния труд са групирани тематично в следните **две изследователски направления**:

- 1. Разработване и изследване на нови ефективни метало-оксидни катализатори използвани за редукция NO_x чрез акумулиращо-редукционен катализ.**
- 2. Разработване и изследване на нови метал-обменени зеолити, използвани като ефективни катализатори за селективна каталитична редукция на NO_x с амоняк.**

ОСНОВНИ НАУЧНИ ПРИНОСИ

НАПРАВЛЕНИЕ 1. Разработване и изследване на нови ефективни метало-оксидни катализатори използвани за редукция NO_x чрез акумулиращо-редукционен катализ.

Научните трудове, включени в това направление са описани чрез номерата си дадени в списъка на научните публикации по-долу. Това са съответно [публикации 1, 2, 3, 4, 5, и 6.](#)

Най-общо, научните постижения са в областта на инфрачервената (ИЧ) спектроскопия на адсорбирани молекули от CO , NO , $\text{NO}+\text{O}_2$, H_2 , D_2 и др., с цел определяне на валентното и координационно състояние на нанесените метали и метални катиони, ефекта от модифициране на повърхността на изследваните материали върху киселинността, както и механизма на образуване и идентифициране на повърхностно адсорбираните съединения. Динамични адсорбционни/десорбционни измервания основно чрез мас-спектрометричен анализ бяха в основата за определяне на основните адсорбционни характеристики на изследваните образци, като дисперсност на нанесените на повърхността на катализатора метали, максимален адсорбционен капацитет по даден газ, времето за изчерпване на работният адсорбционен капацитет и максималната температура на десорбция необходима за регенериране на адсорбента. Каталитичните тестове върху монолитни катализатори са проведени на пилотна поточна каталитична инсталация при условия, близки до тези в индустриалната практика. Апаратура бе оборудвана с детектираща система от мас-спектрометър и ИЧ газов анализатор за измерване на концентрацията на отделните компоненти в газовата смес. В някои от изследванията са използвани и други физико-химични методи за анализ чрез микро калориметрия, температурно-програмирана десорбция/редукция (ТПД/ТПР), рентгенова дифракция и раманова спектроскопия.

Предмет на изследванията в това направление, са посветени на фундаментални и приложни изследвания свързани с разработването и използването на нови по-ефективни и перспективни катализатори използвани в процесите на редукция на NO_x чрез акумулиращо-редукционен катализ. Поради непрекъснато повишаващите се екологични изисквания, автомобилната индустрия е принудена да търси все по-нови технологии и материали, осигуряващи по-прецизен контрол и по-пълно обезвреждане на емисиите от NO_x . Едно от предизвикателствата понастоящем е възможността от разработване на нови катализатори, които могат едновременно да проявяват висока активност и селективност, висока термична стабилност и подобрена устойчивост при отравяне със SO_x . Особен интерес в този смисъл, представляват изследванията свързани с проследяване влиянието от модифициране на структурата и

адсорбционните и редукиционни свойства чрез внасянето на допълнителни метали или метални оксиди към класическият акумулиращо-редукиционен Pt/BaO/ γ -Al₂O₃ катализатор. В случая, работата в [публикация 1 и 2](#) бе свързана с установяване влиянието от наличието на CeO₂ и ZrO₂ към Pt/Ba/ γ -Al₂O₃ катализатор и тяхната роля в процеса на акумулиране и съответно редукия на азотните оксиди. Първоначално, измерванията на киселинността, извършени чрез адсорбция на CO при ниски температури (100 K), показаха образуването на различни карбонилни комплекси, свързани с CO адсорбиран върху OH групи, Al³⁺ и Ce⁴⁺ йони и редуцирани Pt частици с различен размер. Така беше установено, че нанесените Zr⁴⁺ йони върху повърхността на γ -Al₂O₃ са свързани и взаимодействат предимно с хидроксилните групи на носителя, докато Ce⁴⁺ йони са основно разположени върху Al³⁺ Люисови центрове. За определяне на природата и относителната стабилност на адсорбираните NO_x съединения на повърхността на синтезираните Pt/CeO₂-ZrO₂/Al₂O₃, Pt/CeO₂/Al₂O₃ и Pt/ZrO₂/Al₂O₃ образци бяха проведени изследвания чрез ИЧ спектроскопия при адсорбция на NO+O₂ и следваща термична обработка или редукия в присъствие на H₂. Завършването на експерименталните изследвания и комбинирането на резултатите, ни даде възможност да бъде изяснена ролята от промотирането на Pt/ γ -Al₂O₃ катализатор с добавки от CeO₂ и ZrO₂ върху процесите на акумулиране и регенериране на повърхността на катализатора при адсорбция на NO_x. При съвместната адсорбция на NO + O₂ върху оксидните повърхности се установи, че това може да доведе до едновременно образуване на нитрито/нитратни комплекси, координирани върху различните центрове (Al³⁺, Ce⁴⁺ и Zr⁴⁺). Адсорбцията на NO_x в началните етапи води до образуване на нитрити, които с повишаване на налягането на O₂ постепенно се превръщат в различни видове нитрати. Въпреки високата термична стабилност на адсорбираните NO_x съединения, беше установено че тяхната редукия с H₂ протича при сравнително ниски температури върху изследваният Pt/CeO₂-ZrO₂/Al₂O₃ катализатор. Направено бе заключение, че сравнително високата активност на образеца в процеса на редукия на NO_x е свързана с неговата роля на активиране на водорода при относително ниски температури. Тези резултати инициираха изследванията в [публикация 1](#), където чрез ИЧ спектроскопия беше изследван ефекта от взаимодействието на Pt/CeO₂/ZrO₂/ γ -Al₂O₃ катализатор с H₂/D₂. Първоначалните изследвания чрез адсорбция на CO и O₂ при ниски температури (100 K) показаха, че предварителната редукията на образеца с H₂ при 723 K води до образуването на кислородни ваканции в непосредствена близост до Ce³⁺ и Pt центрове. Беше установено, че високата концентрация на тези ваканции разположени на близо на повърхността предопределя процеса на молекулярна адсорбция на O₂ и формиране на супероксидни

повърхностни съединения от типа $(\text{O}_2^-)_{\text{адс}}$. Резултатите от изследванията на адсорбция на D_2 на предварително окислен $\text{Pt/CeO}_2/\text{ZrO}_2/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ катализатор показаха, че процеса се осъществява чрез хетеролитична дисоциация при стайна температура. Това от своя страна води до постепенен D/H обмен на хидроксилните групи и частична редукция на Ce^{4+} до Ce^{3+} йони с образуване на вода (D_2O). Така формираната D_2O взаимодейства с изолирани O-H групи и предизвиква образуването на H-свързани O-H/O-D групи. Тези групи беше установено, че проявяват относително ниска термична стабилност до 523 K и повишена адсорбционна способност към NO_x , разкривайки тяхната съществена роля в нискотемпературния NO_x адсорбционен механизъм.

В [публикация 3](#), адсорбцията на NO_2 върху $\text{Pt/BaO}/\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ катализатор бе изследвана чрез микро-калориметрия при атмосферно налягане. Топлината на адсорбция на NO_2 ($\Delta H_{\text{ads}}(\text{NO}_2)$) бе определена в широк диапазон от повърхностни покрития в интервала 423-773 K при отсъствие/наличие на 5% CO_2 . Температурните зависимости на $\Delta H_{\text{ads}}(\text{NO}_2)$ потвърдиха за наличието на енергетично различни центрове с различна здравина на свързване. Бе установено, че топлината на адсорбция $\Delta H_{\text{ads}}(\text{NO}_2)$ следва линейна зависимост спрямо температурата, като при висока температура се образуват най-здраво свързаните нитрати, докато при по-ниска температура присъстват по-слабо свързани такива. Топлината на адсорбция е по-висока при използване на по-висока концентрация от NO_2 , което бе свързано с образуването на обемни повърхностни форми от бариерен нитрат. Това бе в съответствие с данните, които показаха, че от съществено значение е определянето на топлината на адсорбция на повърхностните съединения, тъй като те са значително по-различни в сравнение с термодинамичните данни за обемните такива. Микро-калориметричните данни показаха зависимости в подкрепа на отрицателното въздействие на CO_2 върху процеса на адсорбция на азотните оксиди. Топлината освободена при адсорбция на NO_x при наличие/отсъствие на 5% CO_2 при 423 K е съответно $-97.8 \text{ kJ mol}^{-1}$ и $-134.5 \text{ kJ mol}^{-1}$.

В [публикация 4](#) бе изучен в детайли механизма на адсорбция и редукция на NO_x с водород и ефекта от промотиране на класическия акумулиращо-редукционен $\text{Pt/BaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ катализатор с Rh. За целта първоначално бяха проведени каталитични тестове чрез редуващи се цикли на адсорбция и последваща редукция на адсорбираните NO_x с H_2 върху $\text{Pt/BaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Rh/BaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ катализатори. Бе установено че, основния лимитиращ фактор на $\text{Pt/BaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ катализатор е свързан с неговата ограничена способност към регенериране. От друга страна, $\text{Rh/BaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ катализатор се характеризира с по-слаба адсорбционна способност към NO_x ,

поради по-ниската си каталитична активност на окисление на NO до NO₂. За преодоляване на тези ограничения, изследванията по-нататък бяха насочени към синтезирането на модифициран с Rh Pt/BaO/γ-Al₂O₃ катализатор и изследване на ефекта от промотирането му. За определяне на дисперсността на нанесените на повърхността преходни метали (Pt и Rh), синтезираните Pt/BaO/γ-Al₂O₃, Rh/BaO/γ-Al₂O₃ и PtRh/BaO/γ-Al₂O₃ катализатори бяха охарактеризирани чрез изучаване на процеса на динамична хемосорбция на CO при стайна температура. В допълнение, образците бяха изследвани и в процеса на дисоциация на N₂O до N₂ и O₂ в температурният интервал (323 - 773 K). Резултатите от тези изследвания показаха, че по-високата дисперсност на Rh нанесен на повърхността на BaO/γ-Al₂O₃ система, допринася за освобождаването O₂ при дисоциацията на N₂O при значително по-ниски температури в сравнение с тази на Pt. От динамичните измервания на адсорбция и десорбция на NO₂ беше установено, че наличието на Rh в състава на класическия Pt/BaO/γ-Al₂O₃ катализатор има промотиращо влияние, като десорбцията на NO_x протича при по-ниски температури в сравнение с тази върху Pt образец. Тези резултати ни позволиха да направим заключение, че наличието на Rh има съществена роля върху скоростта на миграция на адсорбираните NO_x съединения на повърхността, контролирайки последващата десорбция на NO_x при по-ниски температури.

Целта на изследванията проведени в [публикация 5 и 6](#) бе намиране на оптималната структура на повърхността на тройната оксидна BaO/TiO₂/γ-Al₂O₃ система с оптимален адсорбционен капацитет по отношение на NO₂. Възможността за получаване на такъв тип адсорбенти бе мотивирана от това, че наличието на добавки от различни метални оксиди (TiO₂, FeO_x, CeO₂) към класическия акумулиращо-редукционен Pt/Ba/γ-Al₂O₃ катализатор подобрява неговата резистентност към отравяне със SO_x съединения. Така, при вариране на условията на получаване (метод на внасяне на модифициращата добавка от TiO₂ чрез утаяване или съутаяване по зол-гел метод, както и използване на различни прекурсори и вариране на температурата на наляване), бяха синтезирани две различни по състав и структура тройно оксидни BaO/TiO₂/γ-Al₂O₃ системи. От сравнителният анализ чрез рентгенова дифракция, раманова спектроскопия и сканираща електронна микроскопия се установи, че смесената оксидна система BaO/TiO₂/γ-Al₂O₃, получена чрез съвместно съутаяване на съответните хидроксида се характеризира с едно значително по хомогенно разпределение на компонентите в сравнение с това на образеца получен чрез утаяване на TiCl₄ на повърхността на γ-Al₂O₃. Фазовият състав силно зависи от силата на взаимодействие между компонентите и размерът на формираните кристалити от TiO₂(анатаз) с образуване на различни фазови комплекси под формата на бариеви- титанати и

алуминати или смесена фаза от оксидите на всички компоненти. За образците получени чрез утаяване на $TiCl_4$ на повърхността на $\gamma-Al_2O_3$ бяха идентифицирани фази от чист анатаз и $BaTiO_3$. Докато за образците получени чрез съвместното съутаяване, беше установено формирането на една комплексна структура със състав от $Ba_{1.23}Al_{2.46}Ti_{5.54}O_{16}$ в резултат на взаимодействие между компонентите от BaO , Al_2O_3 и TiO_2 . Установено бе, че адсорбционният капацитет по отношение на NO_2 на смесените дву- ($TiO_2/\gamma-Al_2O_3$) и три-компонентни ($BaO/TiO_2/\gamma-Al_2O_3$) оксидни системи зависи в значителна степен от повърхностната морфология, размер и разпределение на TiO_2 частиците на повърхността на $\gamma-Al_2O_3$. Увеличеният адсорбционен капацитет се дължи предимно на увеличения брой достъпни за адсорбция Ti^{4+} центрове на повърхността. Беше установено, наличието на два типа нитрати координирани на Ti^{4+} центрове със значително различна термична стабилност, чиято концентрация силно зависи от дисперсността на TiO_2 частици.

НАПРАВЛЕНИЕ 2. Разработване и изследване на нови метал-обменени зеолити, използвани като ефективни катализатори за селективна каталитична редукция на NO_x с амоняк.

Научните трудове, включени и описани в това направление чрез номерата си дадени в списъка на научните публикации по-долу са съответно [публикации 7, 8 и 9](#).

Един от най-дискутираните каталитични методи за почистване на емисиите от NO_x от мобилни и стационарни източници е базиран на технологията на селективна каталитична редукция (СКР) с различни реагенти (NH_3 или амонячни прекурсори и въглеводороди). За ограничаване на екологичните проблеми свързани със замърсяването на атмосферния въздух с NO_x от превозните средства с дизелови двигатели, през последните години се стимулира разработването и изследването на нови катализатори на базата на метал-обменени зеолити, като Cu , Fe , Se , Co или Ag върху ZSM-5, BEA, SSZ-13 и SAPO-34. От съществено значение за работата на тези катализатори е важно познаването на основните фактори, влияещи върху тяхната ефективност. Като основно внимание се обръща на степента на дезактивирането на образците от високата температура (необходима за регенериране на филтъра за прахови частици), както и от присъствието на водни пари, CO_2 , серни и фосфорни съединения в отработените газови смеси. Научните публикации включени в това направление разглеждат именно този аспект от приложението на различни Cu - и Fe - обменени зеолити в процеса.

За целите на развиващата се технология и в търсенето на нови високо активни катализатори, беше синтезиран и изследван за първи път нов тип Fe - обменен SAPO-34 зеолит

със значително подобрена хидротермична стабилност в сравнение с конвенционално използвания Cu/CНА в условията на процеса. Кандидатът за този конкурс имаше шанса и привилегията да бъде част от колектива направил това откритие, на което са посветени [публикация - 7 и подадените заявки за патент - 8, 15 и 16](#) с индустриална собственост и авторското право на Ford Global Technologies. С най-голяма практическа стойност са зеолитните структури от типа на SAPO-34, тъй като те се характеризират със силно развита специфична повърхност от $\sim 600-700 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ и малки пори с размери от $\sim 3.8 \text{ \AA}$. Тези структурни характеристики осигуряват по-високата резистентност към дезактивиране от присъствието на водни пари и въгледороди. Тяхното преминаване и адсорбция от газова фаза към повърхността на катализатора е селективно ограничено поради по-големият им размер в сравнение с този на порите на зеолита. Така усилията в [публикация 7 и 8](#) бяха фокусирани първоначално чрез метода "зол-гел" да бъдат синтезирани Fe- обменени SAPO-34 образци с различно съдържание на Fe (0.27; 0.47 и 1.03 wt.% Fe). По този начин бе намерена оптималната структура подходяща за получаването на Fe/SAPO-34 катализатор с най-висока степен на хидротермична стабилност в окислителните условия на провеждане на реакцията. Резултатите от изследванията чрез рентгенова дифракция показаха, че внасянето на Fe- съдържащия се прекурсор по време на синтеза на SAPO-34 води до частично заместване на Al^{3+} йони от зеолитната матрица с Fe^{3+} йони. При увеличаване на концентрацията на Fe^{3+} йони (1.03 wt.% Fe) се достига до състояние на увеличаване размера на елементарната клетка в кристалната структура на зеолита. Това води до появата на дефекти, поради разликите в йонния радиус на Al^{3+} и Fe^{3+} йони. Каталитичните тестове на СКР на NO_x върху монолитни Fe/SAPO-34 катализатори бяха проведени на пилотна каталитична инсталация при условия, близки до тези в индустриалната практика. Беше установено, че Fe/SAPO-34 образец с най-ниско съдържание на Fe (0.27 wt.% Fe) проявява най-висока активност и хидротермична стабилност в изследваната реакция при температури от 550 до 900° C. По-нататък, изследванията показаха, че синтезираният Fe/SAPO-34 катализатор се характеризира и с по-висока ефективност в СКР на NO_x при високи температури (600-750° C), в сравнение с конвенционално използвания търговски Cu/CНА катализатор. Чрез комбиниране на двата монолитни катализатора, като първи слой е Fe/SAPO-34, а втори Cu/CНА, се постига компенсация на наблюдаваната незадоволителна активност при работа само на Cu/CНА при високите температури. Чрез двойната катализаторна монолитна система бе постигнат един комплексен положителен ефект покриващ широк температурен диапазон (200–800° C) на провеждане на процеса.

Един от основните проблеми в практическото приложение на катализаторите използвани за почистване на емисиите от NO_x от превозните средства с дизелови двигатели е тяхното отравяне и дезактивиране, в резултат на присъствието на фосфор-съдържащи примеси в биодизела и добавките в смазочните масла. В [публикация 9](#) бе изследван ефекта от химичната дезактивация в резултат на отравяне с фосфор на Cu - обменен BEA зеолит, използван като катализатор в процеса на СКР на NO_x с NH_3 . Cu/BEA монолитни катализатори с различно съдържание на Cu (4 и 1.3 wt% Cu) бяха подложени на отравяне при 573 и 773 K чрез контролирано изпаряване на H_3PO_4 в присъствието на 8% O_2 и 5% H_2O . Свежите и отровени образци бяха тествани в процесите на каталитично окисление на NH_3 и NO и СКР при стандартни условия в температурният диапазон от 150-500° C. Установен бе механизъм на физическа дезактивация, в резултат на процес на кондензация на фосфорната киселина в порите на зеолитната матрица. На базата на изследвания чрез рентгенова фотоелектронна спектроскопия и H_2 -ТПР, бе установено, че основната причина за понижаване на ефективността на катализаторите в резултат на отравянето им е свързана с отлагането на различни фосфатни, мета- и хидоген- фосфатни съединения на повърхността. Тяхното образуване води до намаляване на броя на активните Cu^{2+} центрове участващи в окислително-редукционния цикъл на процеса. Беше установено, че отравянето с H_3PO_4 има по-значително отрицателно въздействие при по-ниските температури (473-673 K) на провеждане на процеса. При високите температури (773 K) бе наблюдавано повишаване на конверсията на NO_x върху катализатора подложен на отравяне в сравнение на същия свеж образец. Причина за последното бе установената по-ниска активност на окисление на NH_3 при високите температури (773 K) върху дезактивирани с фосфор Cu/BEA образци.

С оглед на направената авторска справка на научните приноси, разглеждащи постигнатите резултати се вижда, че съществуват голям брой възможности за бъдещи изследвания в областта на разработването и използването на нови материали, като катализатори/адсорбенти за контролиране на замърсяванията с емисии от азотни оксиди. Актуалността на проблема е заложен в редица национални и Европейски директиви за подобряване качеството на атмосферния въздух. Това налага и научните изследвания да бъдат в направление свързано с решаване на проблемите на съществуващите технологии и намиране на нови иновативни подходи, осигуряващи по-прецизен контрол и по-пълно обезвреждане на емисиите от NO_x .

БИБЛИОГРАФИЯ НА ПУБЛИКАЦИИТЕ УЧАСТВАЩИ В КОНКУРСА

1. S. Andonova, Z.A. Ok, E. Ozensoy, K. Hadjiivanov, *Effects induced by interaction of the Pt/CeO_x/ZrO_x/γ-Al₂O₃ ternary mixed oxide DeNO_x catalyst with hydrogen*, **Catalysis Today** (2019) in press, DOI: [10.1016/j.cattod.2019.02.056](https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.02.056).
2. S. Andonova, Z.A. Ok, N. Drenchev, E. Ozensoy, K. Hadjiivanov, *Pt/CeO_x/ZrO_x/γ-Al₂O₃ Ternary Mixed Oxide DeNO_x Catalyst: Surface Chemistry and NO_x Interactions*, **The Journal of Physical Chemistry C** **122** (2018) 12850-12863.
3. S. Andonova, V. Marchionni, L. Lietti, L. Olsson, *Micro-calorimetric studies of NO₂ adsorption on Pt/BaO-supported on γ-Al₂O₃ NO_x storage and reduction (NSR) catalysts-Impact of CO₂*, **Molecular Catalysis** **436** (2017) 43-52.
4. S. Andonova, V. Marchionni, M. Borelli, R. Nedyalkova, L. Lietti, L. Olsson, *Mechanistic investigations of the promoting role of Rh on the NSR performance of NO_x storage BaO-based catalysts*, **Applied Catalysis B Environmental** **32-133** (2013) 266-281.
5. S. Andonova, G. S. Şentürk, E. Kayhan, E. Ozensoy, *Fine-Tuning the Dispersion and the Mobility of BaO Domains on NO_x Storage Materials via TiO₂ Anchoring Sites*, **The Journal of Physical Chemistry C** **114** (2010) 17003-17016.
6. S. Andonova, G.S. Şentürk, E. Kayhan, E.; Ozensoy, *Nature of the Ti-Ba Interactions on the BaO/TiO₂/Al₂O₃ NO_x Storage System*, **The Journal of Physical Chemistry C** **113** (2009) 11014-11026.
7. S. Andonova, S. Tamm, C. Montreuil, C. Lambert, L. Olsson, *The effect of iron loading and hydrothermal aging on one-pot synthesized Fe/SAPO-34 for ammonia SCR*, **Applied Catalysis B Environmental** **180** (2016) 775–787.
8. S. Andonova, S. Tamm, L. Olsson, C.N. Montreuil, Ch. K. Lambert, *Fe-SAPO-34 catalyst for use in NO_x reduction and method of making*, **Patent Application Publication, USA, 2015, Pub.N: US 2015/0231617A1**. <https://www.scopus.com>
9. S. Andonova, E. Vovk, J. Sjöblom, E. Ozensoy, L. Olsson, *Chemical deactivation by phosphorous under lean hydrothermal conditions over Cu/BEA NH₃ - SCR catalysts*, **Applied Catalysis B: Environmental** **147** (2014) 251-263.
10. S. Andonova, V. Marchionni, L. Lietti, L. Olsson, *Enhanced low temperature NO_x reduction performance over bimetallic Pt/Rh-BaO Lean NO_x trap catalysts*, **Topic in Catalysis** **56** (2013) 68-74.
11. L. Kubiak, L. Castoldi, L. Lietti, S. Andonova, L. Olsson, *Mechanistic Investigation of the Reduction of NO_x over Pt-and Rh-Based LNT Catalysts*, **Catalysts** **6** (2016) 1-14.
12. M. Kayhan, S. Andonova, G.S. Şentürk, C.C. Chusuei, E. Ozensoy, *Fe Promoted NO_x Storage Materials: Structural Properties and NO_x Uptake*, **The Journal of Physical Chemistry C** **114** (2010) 357-369.
13. S. Tamm, S. Andonova, L. Olsson, *Silver as Storage Compound for NO_x at Low Temperatures*, **Catalysis Letters** **144** (2014) 674 - 684.

14. S. Tamm, S. Andonova, L. Olsson, *The effect of hydrogen on the storage of NO_x over silver, platinum and barium containing NSR catalysts*, **Catalysis Letters** **144** (2014) 1101-1112.
15. S. Andonova, S. Tamm, L. Olsson, C.N. Montreuil, Ch. K. Lambert, *Fe-SAPO-34 catalyst for use in NO_x reduction and method of making*, **Patent Application Publication, China, 2015; Pub.N: CN104841480A**. <http://www.patentbuddy.com/Patent/CN-104841480-A?ft=true&sr=true>
16. S. Andonova, S. Tamm, L. Olsson, C.N. Montreuil, Ch. K. Lambert, *Fe-SAPO-34 catalyst for use in NO_x reduction and method of making*, **Patent Application Publication, Germany, 2015; Pub.N: DE102015202934A1**. <http://www.patentbuddy.com/Patent/DE-102015202934-A1?ft=true&sr=true>
17. K. Wijayanti, S. Andonova, A. Kumar, J. Li, K. Kamasamudram, N.W. Currier, A. Yezerets, L. Olsson, *Impact of sulfur oxide on NH₃-SCR over Cu-SAPO-34*, **Applied Catalysis B Environmental** **166-167** (2015) 568 - 579.
18. O. Mihai, C.R. Widyastuti, S. Andonova, K. Kamasamudram, J. Li, S. Joshi, N.W. Currier, A. Yezeretz, L. Olsson, *The effect of Cu - loading on different reactions involved in NH₃-SCR over Cu-BEA catalysts*, **Journal of Catalysis** **311** (2014) 170 - 181.
19. M. Mihaylov, S. Andonova, K. Chakarova, A. Vimont, E. Ivanova, N. Drenchev, K. Hadjiivanov, *An advanced approach for measuring acidity of hydroxyls in confined space: a FTIR study of low-temperature CO and ¹⁵N₂ adsorption on MOF samples from the MIL-53(Al) series*, **Physical Chemistry Chemical Physics** **17** (2015) 24304 - 24314.
20. M.Y. Mihaylov, K. Chakarova, S. Andonova, N. Drenchev, E. Ivanova, A. Sabetghadam, B. Seoane, J. Gascon, F. Kapteijn, K.I. Hadjiivanov, *Adsorption Forms of CO₂ on MIL-53 (Al) and NH₂-MIL-53 (Al) as Revealed by FTIR Spectroscopy*, **The Journal of Physical Chemistry C** **120** (2016) 23584–23595.
21. M. Mihaylov, K. Chakarova, S. Andonova, N. Drenchev, E. Ivanova, E.A. Pidko, A. Sabetghadam, B. Seoane, J. Gascon, F. Kapteijn, K. Hadjiivanov, *Adsorption of CO₂ on MIL-53(Al): FTIR evidence of the formation of dimeric CO₂ species*, **Chemical Communications** **52** (2016) 1494 -1497.
22. S. Andonova, E. Ivanova, J. Yang, K. Hadjiivanov, *Adsorption Forms of CO₂ on MIL-53(Al) and MIL-53(Al) OH_x As Revealed by FTIR Spectroscopy*, **The Journal of Physical Chemistry C** **121** (2017) 18665-18673.