



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-130-136>
УДК 541.183

Поступила 18.11.2020
Received 18.11.2020

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ПАРОВ РАСТВОРИТЕЛЯ МАРКИ 646 АДСОРБЦИОННО–КАТАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

А. С. ПАНАСЮГИН, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: niilogaz@tut.by

Н. П. МАШЕРОВА, А. Р. ЦЫГАНОВ, Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13а. E-mail: Mascherova.Nat@mail.ru

Н. Д. ПАВЛОВСКИЙ, Гродненский государственный медицинский университет, г. Гродно, Беларусь, ул. Горького, 80

Целью данной работы является изучение процесса нейтрализации паров смешанного растворителя марки 646 адсорбционно-каталитическим методом. Сущность метода состоит в концентрировании компонентов растворителя на сорбенте, термической десорбции с последующим периодическим беспламенным каталитическим окислением накопленных органических веществ до диоксида углерода и воды. В качестве сорбента был использован синтетический цеолит марки NaX, в качестве катализатора – пористый материал на основе пенокерамики состава Al_2O_3/SiO_2 с высоко-развитой модифицированной поверхностью с нанесенной активной каталитической фазой. Смешанный растворитель содержит ацетон, толуол, н-бутилацетат, этанол, этилцеллозоль, н-бутанол. Показано, что на величину сорбционного объема цеолита для каждого класса рассмотренных соединений оказывают влияние определенные факторы: длина и строение углеродного скелета, положение гидроксильной группы (для спиртов и эфиров), количество метильных групп в составе молекул (для производных бензола). Степень конверсии компонентов смешанного растворителя составила 65,4–90,1%.

Ключевые слова. Адсорбционно-каталитический метод, смешанный растворитель, обезвреживание паров органических веществ, ацетон, толуол, этанол, н-бутанол, этилцеллозоль, бутилацетат.

Для цитирования. Панасюгин, А. С. Обезвреживание паров растворителя марки 646 адсорбционно-каталитическим методом / А. С. Панасюгин, Н. П., Машерова, А. Р. Цыганов, Н. Д. Павловский // *Литье и металлургия*, 2021. № 1. С. 130–136. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-130-136>.

NEUTRALIZATION OF SOLVENT VAPORS OF BRAND 646 BY THE ADSORPTION–CATALYTIC METHOD

A. S. PANASYUGIN, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: niilogaz@tut.by

N. P. MASHEROVA, A. R. TSYGANOV, Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, 13a, Swerdlova str. E-mail: Mascherova.Nat@mail.ru

N. D. PAVLOVSKIY, Grodno State Medical University, Grodno, Belarus, 80, Gorkogo str.

The aim of the paper is investigation of neutralization of solvent vapors of the brand 646 by an adsorption-catalytic method. The adsorption-catalytic method includes the following stages: adsorption of the solvent components by adsorbent, thermal desorption and periodic flameless catalytic oxidation of organic substances to carbon dioxide and water. Synthetic zeolite of the NaX brand was used as a sorbent, catalyst was porous Al_2O_3/SiO_2 ceramic foam material with an active catalytic phase. Solvent contains acetone, toluene, butylacetate, ethanol, ethyl cellosolve, n-butanol. It is shown that the value of the sorption volume of zeolite for each class of compounds depends on the certain factors: the length and structure of the carbon skeleton, the position of the hydroxyl group (for alcohols and esters), number of methyl groups in the molecules (for benzene derivatives). The conversion of the mixed solvent components was 65.4–90.1%.

Keywords. Adsorption-catalytic method, mixed solvent, neutralization of vapors of organic substances, acetone, toluene, ethanol, n-butanol, ethyl cellosolve, butylacetate.

For citation. Panasyugin A. S., Masherova N. P., Tsyganov A. R., Pavlovsky N. D. Neutralization of solvent vapors of brand 646 by the adsorption-catalytic method. *Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 1, pp. 130–136. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-130-136>.

Введение

Развитие промышленных технологий приводит к неуклонному расширению спектра органических соединений, используемых в различных отраслях производства. Одновременно с этим все актуальнее становится задача по охране окружающей среды, предотвращению выбросов этих веществ в атмосферу и разработке способов их нейтрализации.

В реальном производственном процессе практически всегда суммарные концентрации выбросов колеблются в широком диапазоне и, как следствие, оптимизировать режим работы систем нейтрализации, работающих по принципу метода прямого дожигания, весьма проблематично.

Ранее было показано [1–6], что при низких концентрациях органических газовых выбросов рациональнее использовать адсорбционно-каталитический метод, сущность которого состоит в концентрировании веществ на сорбенте с последующим периодическим беспламенным каталитическим окислением накопленных органических веществ до диоксида углерода и воды. Низкотемпературное осуществление процесса окисления, отсутствие трудоемких стадий регенерации, а также особенности технологического процесса, позволяющие минимизировать образование продуктов неполного сгорания соединений углерода, являются несомненными достоинствами адсорбционно-каталитического метода очистки газовых выбросов.

В указанных выше работах приведены результаты исследований по нейтрализации паров фенола, формальдегида, триэтанолamina, производных бензола, предельных углеводородов нормального и циклического строения, пропилен гликолей, сложных эфиров уксусной кислоты, одноатомных спиртов.

Однако материалы, в которых в качестве растворителя используются индивидуальные вещества, встречаются достаточно редко, в большинстве случаев применяют смесевые составы.

Целью данной работы являлось изучение процесса нейтрализации паров смесевого растворителя марки 646 (ГОСТ 18188–72)* адсорбционно-каталитическим методом.

Методика эксперимента

Для решения поставленной задачи в качестве сорбента был выбран синтетический цеолит марки NaX, представляющий собой сферические гранулы диаметром 2,5–3,5 мм. В качестве катализатора глубокого окисления использовали пористые материалы с высокоразвитой модифицированной поверхностью на основе пенокерамики состава Al_2O_3/SiO_2 с нанесенной активной каталитической фазой, имеющие на поверхности пенокерамики сформированный буферный слой, содержащий 11,1 мас.% $\gamma-Al_2O_3$, и обладающие удельной поверхностью 15,6 м²/г [1, 7].

Схема модельной установки нейтрализации паров адсорбционно-каталитическим методом, принцип ее работы детально описаны в работе [1]. Алгоритм работы установки основан на полициклическом принципе:

- 1 – цикл адсорбции паров органических соединений на поверхности сорбента;
- 2 – цикл термической десорбции паров органических соединений в адсорбционном реакторе;
- 3 – цикл глубокого каталитического окисления паров органических веществ.

Для измерения скорости движения газового потока использовали дифференциальный манометр Testo 512 и датчик скорости движения воздуха Testo 425 производства Германии.

Определение концентрации органических веществ осуществляли с помощью газового хроматографа «Цвет-106», оснащенного пламенно-ионизационным детектором (ПИД). Интерпретацию полученных хроматограмм производили с использованием программы «Мультихром 1.39». Процесс адсорбции проводили до проскока 10%-ного суммарного состава всех компонентов растворителя.

Компонентный состав растворителя марки 646 представлен различными классами органических веществ: кетоны (ацетон), спирты нормального строения (этанол, бутанол), производные бензола (толуол), эфиры (бутилацетат, этилцеллозольв). Порядок выхода компонентов смесевого растворителя марки 646 и степень конверсии определяли на основании дискретных значений, полученных при анализе газовых проб, которые отбирали с интервалом в 1 мин. Полноту каталитического окисления органических соединений оценивали по показателям газоанализатора Dräger MSI 150 EURO, который

* ГОСТ 18188–72 Растворители марок 645, 646, 647, 648 для лакокрасочных материалов. Технические условия.

оснащен датчиками, позволяющими оценить количественное и качественное содержание в составе газовых выбросов CO и CO₂.

Результаты и их обсуждение

Адсорбция. Ранее было установлено, что оптимальными условиями проведения сорбционного процесса являются высота слоя сорбента не более 20 см при загрузке 275 г цеолита NaX в реактор диаметром 40 мм и высотой 250 мм [1] при оптимальной скорости газовой воздушного потока 0,5 м/с.

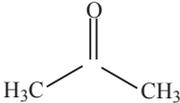
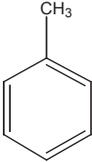
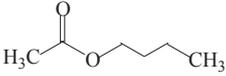
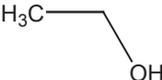
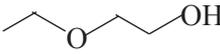
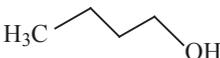
Из табл. 1 видно, что в зависимости от концентрации органических веществ на входе в реактор интервал степени сорбции (*S*) различных компонентов растворителя марки 646 меняется сложным образом (от 90,2 до 96,1%), что несколько отличается от показателей для индивидуальных веществ (95–99,8%) [1–6]. Данные различия вызваны процессом конкурирующей сорбции, обусловленной большими различиями в физико-химических свойствах – химический состав, структурное строение, температура кипения, посадочная площадка и др. (табл. 2).

Таблица 1. Сорбционные свойства цеолита NaX по отношению к парам растворителя марки 646

Адсорбат	Исходная смесь, мг/м ³	Сорбция				<i>S</i> _{сorb} , %
		мг/г	мг/275 г	ммоль/г	ммоль/275г	
Ацетон	353,64	11,2	3080	0,192	52,8	92,4
Толуол	2526	104	28600	1,136	312	96,1
Бутилацетат	505,2	10,32	2838	0,08	22	93,6
Этанол	505,2	12	3300	0,26	71,52	94,3
Этилцеллозольв	404,16	2,56	704	0,028	7,68	90,2
Бутанол	757,8	12,72	3498	0,168	46,24	91,7
Сумма	5052	152,8	42028	1,86	512	93,1*

* Среднее значение.

Таблица 2. Физико-химические свойства компонентов растворителя марки 646

Вещество	Структурная формула	Брутто-формула	<i>T</i> _{кип} , °C	Молярная масса <i>M</i> , г/моль	Посадочная площадка ω, нм ²
Ацетон		C ₃ H ₆ O	56,1	58,08	0,277
Толуол		C ₇ H ₈	110,6	92,14	0,355
Бутилацетат		C ₈ H ₁₂ O ₂	126,0	116,16	0,413
Этанол		C ₂ H ₆ O	78,3	46,07	0,238
Этилцеллозольв		C ₄ H ₁₀ O ₂	135,6	90,12	0,335
н-Бутанол		C ₄ H ₁₀ O	117,7	74,12	0,322

На основании приведенных выше данных можно сделать определенные заключения о том, что на степень адсорбции изученной органической смеси оказывают влияние одновременно несколько факторов. Так, для одноатомных спиртов нормального строения при увеличении числа атомов углерода в молекуле с 2 (этанол) до 4 (н-бутанол) динамическая сорбционная емкость цеолита снижается с 149 до

106,0 мг/г (с 3,24 до 1,43 ммоль/г). Вероятно, в этом случае решающую роль играют как размер посадочной площадки, так и затруднения, возникающие при пространственной ориентации более длинноцепочечных молекул относительно сорбционных центров NaX.

Смещение месторасположения для изомеров C₃-C₅ (пропанол-2, бутанол-2 и пентанол-2), понижение динамической сорбционной емкости цеолита находится в пределах 102–9,7 мг/г (1,71–0,11 ммоль/г), при этом увеличение размеров посадочной площадки молекул вторичных спиртов незначительно [5, 6].

Для производных бензола на значение величин сорбционного объема V_S наибольшее влияние оказывает количество метильных групп в составе молекул. Увеличение размеров посадочных площадок соединений сопровождается уменьшением сорбционного объема, при этом введение в бензольное кольцо очередной метильной группы приводит к более существенному уменьшению сорбционного объема (табл. 3).

Сорбционный объем толуола по отношению к бензолу меньше на 16,27%, сорбционный объем ксилолов по отношению к толуолу уменьшается на 30,07%, а сорбционный объем по мезитилену по сравнению с ксилолами снижается на 62,44% [8].

Таблица 3. Сорбционные характеристики цеолита NaX по отношению к производным бензола

Ароматический углеводород	Сорбционный объем V_S		Посадочная площадка ω , нм ²
	ммоль/г	мг/г	
Бензол C ₆ H ₆	3,38	263,63	0,32
Толуол C ₆ H ₅ CH ₃	2,83	260,36	0,36
Ксилолы C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	1,97	208,82	0,39
Мезитилен C ₆ H ₃ (CH ₃) ₃	0,74	88,8	0,43

В работе [9] были изучены сорбционные характеристики цеолита NaX по отношению к эфирам уксусной кислоты (табл. 4). При увеличении длины углеводородного радикала на метиленовую группу CH₂ размер посадочной площадки эфиров увеличивается. Увеличение размеров посадочных площадок молекул эфиров уксусной кислоты сопровождается уменьшением сорбционного объема (V_S). Увеличение посадочной площадки пропилацетата на 12,9% в сравнении с этилацетатом ведет к снижению сорбционного объема на 27,1% (ΔV_S , ммоль/г), а с увеличением посадочной площадки бутилацетата на 12,23% в сравнении с пропилацетатом снижается сорбционный объем на 32,95% (ΔV_S , ммоль/г). Однако при переходе от бутилацетата к пентилацетату увеличение посадочной площадки на 8,2% приводит к тому, что сорбционный объем снижается на 79,1% (ΔV_S , ммоль/г), что объяснимо более рыхлой упаковкой молекул с объемными радикалами [9].

Таблица 4. Сорбционные характеристики цеолита NaX по отношению к эфирам уксусной кислоты

Эфир уксусной кислоты	Сорбционный объем V_S		Посадочная площадка ω , нм ²
	ммоль/г	мг/г	
Этилацетат	2,15	189,2	0,326
н-Пропилацетат	1,56727	159,9	0,368
н-Бутилацетат	1,05091	121,90	0,413
н-Пентилацетат (амилацетат)	0,22	28,6	0,447

При сравнении ацетона и этилцеллозольва (табл. 5) видно, что размер посадочной площадки у этилцеллозольва всего на 20% выше, чем у ацетона, и из-за этого закономерно уменьшается сорбционный объем [10]. Однако одним увеличением размеров посадочной площадки невозможно объяснить снижение сорбционной емкости в 7,8 раз, вероятно, в данном случае определяющее влияние оказывают строение углеродного скелета и положение гидроксильной группы, что было показано на примере изомеров амилового спирта [11].

Таблица 5. Адсорбционные характеристики NaX по отношению к парам ацетона и этилцеллозольва

Адсорбат	Сорбционный объем V_S		Посадочная площадка ω , нм ²
	ммоль/г	мг/г	
Ацетон	3,44	0,27816	199,53
Этилцеллозольв	0,44	0,33550	39,6

Установлено, что на величину сорбционного объема (V_S) цеолита NaX для каждого класса рассмотренных соединений оказывают влияние свои лимитирующие параметры. Так, для спиртов – длина углеводородного скелета и положение гидроксильной группы, для производных бензола – количество метильных групп в составе молекул, для эфиров уксусной кислоты – увеличение длины углеводородного радикала на метиленовую группу CH_2 и конформация углеводородного радикала спирта, для этилцеллозольва – строение углеродного скелета и положение гидроксильной группы.

Десорбция. В процессе выполнения экспериментов установлено, что десорбция компонентов растворителя марки 646 протекает в течение 3–18 мин (рис. 1).

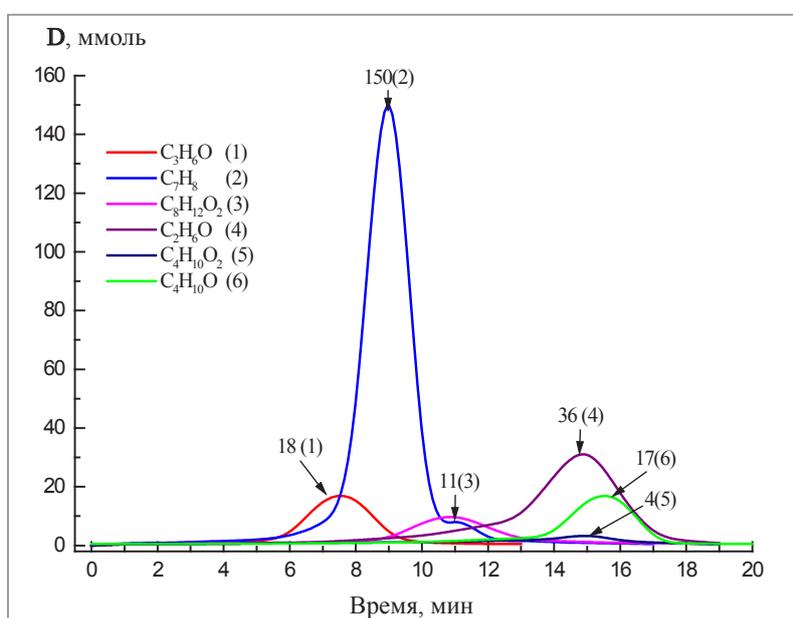


Рис. 1. Кривые десорбции: 1 – ацетон; 2 – толуол; 3 – н-бутилацетат; 4 – этанол; 5 – этилцеллозольв; 6 – н-бутанол

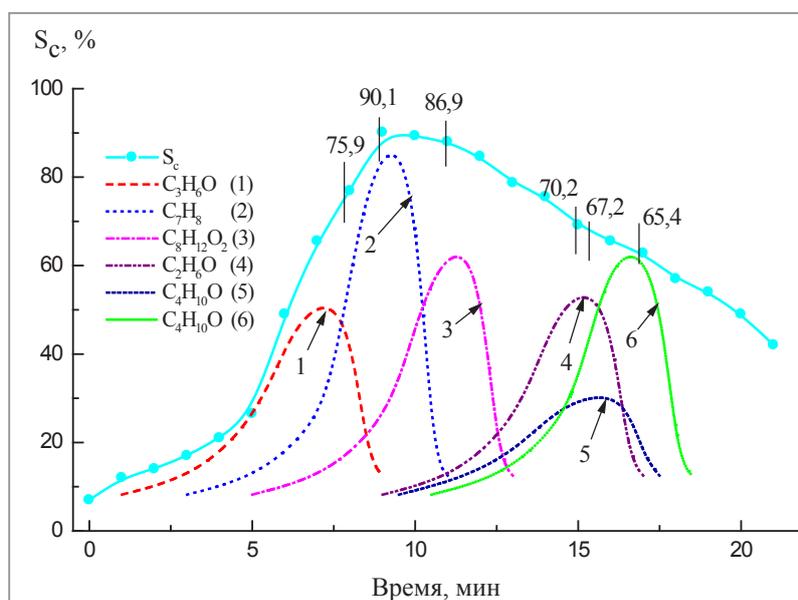


Рис. 2. Зависимость степени конверсии паров растворителя марки 646 от времени:
 S_c – интегральная кривая суммарной конверсии компонентов паров растворителя 646:
 1 – паров ацетона; 2 – толуола; 3 – н-бутилацетата; 4 – этанола; 5 – этилцеллозольва; 6 – н-бутанола

Из рисунка видно, что в отличие от индивидуальных адсорбатов, где процесс десорбции описывается одним пиком или кривой, имеющей плато, в случае смесевых растворителей, имеющих в своем составе соединения различных классов, на кривой десорбции присутствует ряд пиков, на время выхода которых определяющее влияние оказывают их физико-химические свойства.

Конверсия. Поскольку десорбция паров и процесс каталитического окисления протекают практически одновременно, их нейтрализация происходит в интервале 3–18 мин.

На рис. 2 показаны результаты процесса конверсии компонентов смесевых растворителей марки 646, полученные при анализе газовых проб, которые отбирали с интервалом в 1 мин. Степень конверсии (S_c) после десорбции газов из сорбционной колонки и прохождения через каталитический реактор определяли по формуле:

$$S_c = \frac{C_n - C_k}{C_n} \cdot 100\%,$$

где C_n – концентрация паров загрязняющих веществ на входе в каталитический реактор;

C_k – концентрация паров загрязняющих веществ на выходе из каталитического реактора.

Следует отметить, что степень конверсии составила 65,4–90,1%, несмотря на то что концентрации веществ, поступающих в каталитический реактор на заключительной стадии термодесорбции, имеют относительно низкие значения. За счет инерционности процесса разогрева в объеме катализатора создается зона высокотемпературного горения, где в автокаталитическом режиме реализуется процесс разложения паров органических веществ.

Выводы

На величину сорбционного объема (V_S) цеолита марки NaX для каждого класса рассмотренных соединений оказывают влияние свои лимитирующие параметры: для спиртов – длина углеродного скелета и положение гидроксильной группы, для производных бензола – количество метильных групп в составе молекул, для эфиров уксусной кислоты – увеличение длины углеводородного радикала на метиленовую группу CH_2 и конформация углеводородного радикала спирта, для этилцеллозольва – строение углеродного скелета и положение гидроксильной группы.

В случае смесевых растворителей, имеющих в своем составе органические соединения различных классов, на кривой десорбции присутствует ряд пиков, на время выхода которых определяющее влияние оказывают их физико-химические свойства.

Степень конверсии компонентов смесевых растворителей составляет 65,4–90,1%, несмотря на то что концентрации веществ, поступающих в каталитический реактор на заключительной стадии термодесорбции, имеют относительно низкие значения. За счет инерционности процесса разогрева в объеме катализатора создается зона высокотемпературного горения, где в автокаталитическом режиме реализуется процесс каталитического разложения паров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панасюгин А. С., Ломоносов В. А., Сморгыо О. Л. Использование адсорбционно-каталитического метода для очистки вентиляционных выбросов формовочных участков литейных цехов от паров фенола и формальдегида // *Литье и металлургия*. 2014. № 2. С. 19–25.
2. Панасюгин А. С., Ломоносов В. А., Сморгыо О. Л. Использование адсорбционно-каталитического метода для очистки вентиляционных выбросов, образующихся при использовании азотсодержащих формовочных смесей // *Литье и металлургия*. 2014. № 2. С. 26–29.
3. Панасюгин А. С., Ломоносов В. А., Сморгыо О. Л. Использование адсорбционно-каталитического метода для очистки выбросов в атмосферу, образующихся при использовании антипригарных покрытий, содержащих этиловый спирт // *Литье и металлургия*. 2014. № 4. С. 44–46.
4. Панасюгин А. С., Цыганов А. Р., Григорьев С. В. и др. Обезвреживание паров пропанола и изопропанола адсорбционно-каталитическим методом // *Литье Украины*. 2017. № 3. С. 2–5.
5. Панасюгин А. С., Цыганов А. Р., Григорьев С. В. и др. Обезвреживание паров одноатомных спиртов С1–С5 адсорбционно-каталитическим методом // *Литье Украины*. 2017. № 7. С. 2–8.
6. Цыганов А. Р., Панасюгин А. С., Павловский Н. Д., Машерова Н. П. Обезвреживание паров одноатомных спиртов С1–С5 и их изомеров адсорбционно-каталитическим методом // *Нефтехимия-2018: материалы I Междунар. науч.-техн. форума по химическим технологиям и нефтепереработке*. Минск, 27–30 ноября 2018 г. В 2-х ч. Минск: БГТУ, 2018. Ч. 1. С. 67–70.
7. Lomonosov V. A., Panasyugin A. S., Smorgyio O. L., Mikutskii V. A. et al. Pd/ γ - Al_2O_3 catalysts on cellular supports for VOC vapor neutralization // *Catalysis in Industry*. 2010. Vol. 2. № 4. Pp. 387–392.
8. Цыганов А. Р., Панасюгин А. С., Павловский Н. Д. и др. Обезвреживание паров производных бензола адсорбционно-каталитическим методом // *Литье Украины*. 2019. № 6. С. 2–5.

9. **Цыганов А.Р., Панасюгин А.С., Павловский Н.Д. и др.** Обезвреживание паров эфиров уксусной кислоты адсорбционно-каталитическим методом // *Литье Украины*. 2019. № 10. С. 4–8.
10. **Цыганов А.Р., Панасюгин А.С., Павловский Н.Д., Машерова Н.П.** Нейтрализация паров кетонов и этилцеллозольва адсорбционно-каталитическим методом// *Нефтехимия-2019: материалы II Междунар. науч.-техн. и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке*. Минск, 16–18 октября 2019 г. Минск: БГТУ, 2019. С. 28–32.
11. **Панасюгин А.С., Силина Т.В., Григорьев С.В., Павловский Н.Д., Машерова Н.П.** Обезвреживание паров изомеров амилового спирта адсорбционно-каталитическим методом // *Литье Украины*. 2017. № 5. С. 12–16.

REFERENCES

1. **Panasyugin A.S., Lomonosov V.A., Smorygo O.L.** Ispolzovanie adsorbtsionno-kataliticheskogo metoda dlya ochistki ventilyatsionnykh vybrosov formovochnykh uchastkov liteynykh uchastkov ot parov fenola i formaldegida [The use of the adsorption-catalytic method for purification of ventilation emissions of moulding sections of foundries from phenol and formaldehyde vapors]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2014, no. 2, pp. 19–25.
2. **Panasyugin A.S., Lomonosov V.A., Smorygo O.L.** Ispolzovanie adsorbtsionno-kataliticheskogo metoda dlya ochistki ventilyatsionnykh vybrosov, obrazuyuschikhsya pri ispolzovanii azotsoderzhaschikh formovochnykh smesey [The use of the adsorption-catalytic method for purification of ventilation emissions forming under use of nitrogen containing molding mixtures]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2014, no. 2, pp. 26–29.
3. **Panasyugin A.S., Lomonosov V.A., Smorygo O.L.** Ispolzovanie adsorbtsionno-kataliticheskogo metoda dlya ochistki vybrosov v atmosferu, obrazuyuschikhsya pri ispolzovanii antiprigrarnykh pokrytyi, sodержaschikh etilovyy spirit [The use of the adsorption-catalytic method for purification of air emissions generated under use of non-stick coatings containing ethyl alcohol]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2014, no. 4, pp. 44–46.
4. **Panasyugin A.S., Tsyganov A.R., Grigoriev S.V. et al.** Obezvrezhivanie parov propanola i izopropanola adsorbtsionno-kataliticheskim metodom [Neutralization of propanol and isopropanol vapors by the adsorption-catalytic method]. *Lit'e Ukrainy = Ukraine Foundry production*, 2017, no. 3, pp. 2–5.
5. **Panasyugin A.S., Tsyganov A.R., Grigoriev S.V. et al.** Obezvrezhivanie parov odnoatomnykh spirtov C₁-C₅ adsorbtsionno-kataliticheskim metodom [Neutralization of vapors of monohydric alcohols C₁-C₅ by the adsorption-catalytic method]. *Lit'e Ukrainy = Ukraine Foundry production*, 2017, no. 7, pp. 2–8.
6. **Tsyganov A.R., Panasyugin A.S., Pavlovskiy N.D., Masherova N.P.** Obezvrezhivanie parov odnoatomnykh spirtov C₁-C₅ i ikh izomerov adsorbtsionno-kataliticheskim metodom [Neutralization of vapors of monohydric alcohols C₁-C₅ and their isomers by the adsorption-catalytic method]. *Neftekhimiya-2018: materialy I Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo foruma po khimicheskim tekhnologiyam i neftepererabotke, Minsk, noyabr 27–30, 2018 = Petrochemistry-2018: materials of the I International Scientific and technical Forum on Chemical Technologies and on oil processing*. Minsk, November 27–30, 2018. In 2 parts. Minsk, BGTU Publ., 2018, part 1, pp. 67–70.
7. **Lomonosov V.A., Panasyugin A.S., Smorygo O.L., Mikutskiy V.A. et al.** Pd/γ-Al₂O₃ catalysts on cellular supports for VOC vapor neutralization. *Catalysis in Industry*, 2010, vol. 2, no. 4, pp. 387–392.
8. **Tsyganov A.R., Panasyugin A.S., Pavlovskiy N.D. et al.** Obezvrezhivanie parov proizvodnykh benzola adsorbtsionno-kataliticheskim metodom [Neutralization of benzene derivatives vapors by adsorption-catalytic method]. *Lit'e Ukrainy = Ukraine Foundry production*, 2019, no. 6, pp. 2–5.
9. **Tsyganov A.R., Panasyugin A.S., Pavlovskiy N.D. et al.** Obezvrezhivanie parov efirov uksusnoy kisloty adsorbtsionno-kataliticheskim metodom [Neutralization of vapors of acetic acid esters by adsorption-catalytic method]. *Lit'e Ukrainy = Ukraine Foundry production*, 2019, no. 10, pp. 4–8.
10. **Tsyganov A.R., Panasyugin A.S., Pavlovskiy N.D., Masherova N.P.** Neytralizatsiya parov ketona i etilsellozol'va adsorbtsionno-kataliticheskim metodom [Neutralization of ketone and ethyl cellosolve vapors by the adsorption-catalytic method]. *Neftekhimiya-2019: materialy II Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo investitsionnogo foruma po khimicheskim tekhnologiyam i neftegazopererabotke, Minsk, oktyabr 16–18, 2019 = Petrochemistry-2019: materials of the II International Scientific, Technical and Investment Forum on Chemical Technologies and oil gas Processing*. Minsk, October 16–18, 2019. Minsk, BGTU Publ., 2019, pp. 28–32.
11. **Panasyugin A.S., Silina T.V., Grigoriev S.V., Pavlovskiy N.D., Masherova N.P.** Obezvrezhivanie parov izomerov amilovogo spirta adsorbtsionno-kataliticheskim metodom [Neutralization of vapors of amyl alcohol isomers by the adsorption-catalytic method]. *Lit'e Ukrainy = Ukraine Foundry Production*, 2017, no. 5, pp. 12–16.