

ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.064.4:66.097

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ
ЭЛЕКТРОДНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПУТЁМ КАТАЛИТИЧЕСКОГО
ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ****К.В. Белоконь, доц., к.т.н.,****Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье**

***Аннотация.** Выполнено моделирование рассеивания загрязняющих веществ выбросов ОАО «Укрграфит» в атмосферном воздухе. Концентрации нафталина, фенола и оксида углерода в атмосферном воздухе с учетом фона превышают санитарно-гигиенические нормы. Разработан и рекомендован способ каталитического обезвреживания газовых выбросов ОАО «Укрграфит» на интерметаллидных катализаторах.*

***Ключевые слова:** газовые выбросы, оксид углерода, углеводороды, атмосферный воздух, экологическая безопасность, обезвреживание.*

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВ ЕЛЕКТРОДНОГО
ВИРОБНИЦТВА ШЛЯХОМ КАТАЛІТИЧНОГО ЗНЕШКОДЖЕННЯ ГАЗОВИХ
ВИКИДІВ****К.В. Белоконь, доц., к.т.н.,****Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя**

***Анотація.** Виконано моделювання розсіювання забруднюючих речовин викидів ВАТ «Укрграфіт» в атмосферному повітрі. Концентрації нафталіну, фенолу та оксиду вуглецю в атмосферному повітрі з урахуванням фону перевищують санітарно-гігієнічні норми. Розроблено та рекомендовано спосіб каталітичного знешкодження газових викидів ВАТ «Укрграфіт» на інтерметалідних катализаторах.*

***Ключові слова:** газові викиди, окис вуглецю, вуглеводні, атмосферне повітря, екологічна безпека, знезараження.*

**GREENING OF ELECTRODE PRODUCTION ENTERPRISES BY CATALYTIC
GAS EMISSION DISPOSAL****K. Belokon, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),****Zaporizhia State Engineering Academy, Zaporozhye**

***Abstract.** Modeling of pollutant emission dispersion into the air at JSC "Ukrgrafit" is carried out. Concentrations of naphthalene, phenol and carbon monoxide in the air taking into account the background exceed the sanitary norms. The method of catalytic neutralization of gas emissions at JSC "Ukrgrafit", on intermetallic catalysts is developed and recommended.*

***Key words:** gas emissions, carbon monoxide, hydrocarbons, air, environmental safety, disposal.*

Введение

Для Запорожской области защита воздушно-го бассейна от выбросов оксида углерода

(CO) и углеводородов (C_mH_n) является актуальной. Это подтверждается долей CO в общем валовом выбросе, которая составляет 43 %. Несмотря на относительно небольшие

объемы выбросов C_mH_n , их отрицательное влияние на окружающую природную среду и человека, учитывая класс опасности и канцерогенные свойства, довольно значительное.

Основной вклад в образование выбросов СО и C_mH_n в Запорожской области вносят такие предприятия, как ОАО «Запорожсталь», ОАО «Украинский Графит», ОАО «Запорожский завод ферросплавов», ОАО «Запорожский алюминиевый комбинат», ОАО «Запорожжокс», ОАО «Днепроспецсталь», ГП «Запорожский титано-магний комбинат» (1-2 класса опасности).

В настоящее время Украина внедряет стандарты выбросов как основу для регулирования выбросов в атмосферный воздух. Эти стандарты, которые носят официальное название «Нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ из стационарных источников», были утверждены Приказом Минприроды № 309 от 27.06.2006 г.

Значительные объемы СО и C_mH_n в газовых выбросах обуславливают повышенную экологическую опасность вокруг объектов, где они образуются. Концентрация СО и C_mH_n в выбросах многих указанных предприятий не соответствует установленным нормативам и служит фактором интенсивного ухудшения состояния атмосферного воздуха [1]. Для достижения установленных нормативов предприятия вынуждены оптимизировать технологические процессы, переоснащать производство и внедрять новые технологии.

Анализ публикаций

Предприятия производства электродов выделяют в окружающую среду около 4-5 млн. м³ газа в час, содержащего СО и смолистые вещества, представляющие собой смесь полициклических ароматических углеводородов, часть из которых обладает канцерогенными свойствами. В качестве индикатора канцерогенной опасности выбросов предприятий производства электродов общепризнан бенз(а)пирен, содержание которого в смолистых веществах аэрозольной части колеблется от 0,8-0,10 до 1-2 %. В среднем предприятие выделяет около 60-80 кг бенз(а)пирена в сутки [2].

Для снижения концентраций СО и C_mH_n в выбросах наиболее широко применяют сорб-

ционный, термический и каталитический методы [3, 4].

Методы абсорбции широко применяются в промышленности для очистки технологических газов от различных примесей, в том числе от СО. Однако применить их к технологическим газам производства электродов практически невозможно из-за больших расходов очищаемого газа, сложной технологической схемы очистки от пыли и других примесей, высокого давления и большой стоимости.

Методы адсорбционной очистки газов чаще всего применяются для обезвреживания технологических газов от примесей веществ, находящихся в парообразном состоянии. Эти методы имеют существенные недостатки: они требуют больших капитальных затрат, материалоемки, а главное – не обеспечивают в ряде случаев требуемой степени очистки газов.

Методы термического дожигания СО основаны на дожигании его до СО₂ при высоких температурах (800-1200 °С). Этот метод может быть применен при концентрации СО более 12 %, т.е. в том случае, когда содержание СО превышает предел воспламенения газовой смеси. При использовании термического метода, несмотря на высокую степень окисления органических веществ, не всегда удаётся обеспечить ПДК образующегося оксида углерода в воздухе. Поэтому в ряде случаев этот метод используется только на первой ступени очистки.

Одним из эффективных процессов обезвреживания газовых выбросов от СО и C_mH_n является каталитический метод. Каталитический процесс нейтрализации продуктов горения протекает, как правило, при температуре выше 300 °С и при малых временах контакта, что связано с большими скоростями потока промышленных выбросов.

Основные преимущества каталитического способа по сравнению с термическим способом дожигания заключаются в ряде его технологических и эксплуатационных свойств, а именно: высокой эффективности и экономичности, отсутствии вредных побочных явлений.

Ужесточение санитарных норм состояния окружающей среды заставляет искать эффек-

тивные катализаторы для обезвреживания отходящих газов промышленных установок.

Для каталитической очистки CO и C_mH_n могут применяться металлические и оксидные катализаторы, а также некоторые природные минералы, шамот, дунит и др. [5, 6].

Металлические катализаторы характеризуются более высокой активностью в отношении реакции взаимодействия с CO и C_mH_n , чем оксидные.

Из благородных металлов наибольшей активностью обладает никель, кобальт и железо, причем удельная каталитическая активность кобальта в 2,1 раза, а железа в 16 раз меньше активности никеля. Платина и палладий обладают наилучшими каталитическими свойствами в отношении реакции окисления CO и C_mH_n . Однако удельные каталитические активности платины и палладия немного выше активности никеля: платина активнее никеля в 6 раз, а палладий – в 5 раз. С другой стороны, никель значительно активнее оксидных катализаторов: удельная каталитическая активность его при температуре 180°C на три порядка выше активности оксида кобальта и на шесть порядков выше активности оксида цинка при 300°C . Таким образом, в качестве низкотемпературных катализаторов окисления CO и C_mH_n более целесообразно применять никелевые и кобальтовые катализаторы. Если, однако, учесть более высокую активность, а также меньшую стоимость и дефицитность никеля по сравнению с кобальтом, то выбор никелевых катализаторов для промышленного применения в процессах окисления CO и C_mH_n следует признать наиболее рациональным. При этом к числу наиболее эффективных катализаторов относятся материалы, содержащие интерметаллидные соединения никеля, что связывают с его способностью к переносу активного кислорода, участвующего в процессе окисления [6, 7]. В связи с этим представляется перспективным изучение свойств интерметаллидов этих металлов в качестве катализаторов.

Цель и постановка задачи

Целью работы является разработка научно-технических решений для защиты атмосферного воздуха от выбросов, содержащих оксид углерода и углеводороды, предприятий про-

изводства электродов и соблюдения экологических нормативов, установленных в Украине.

Для достижения поставленных целей в работе необходимо провести моделирование расщепления оксида углерода и углеводородов, содержащихся в выбросах предприятий производства электродов, в атмосферном воздухе и обосновать необходимость разработки технических решений для повышения экологической безопасности этих предприятий.

Анализ экологической безопасности предприятий производства электродов

Анализ экологической безопасности проводился для предприятия ОАО «Украинский Графит», т.к. в выбросах этого предприятия присутствуют CO ($\approx 82\%$) и токсичные углеводороды ($\approx 5,5\%$).

ОАО «Укрграфит» – ведущий производитель в Украине графитированных электродов для электросталеплавильных, руднотермических и других видов электрических печей, углеродной, электродной и анодной масс для электродов, углеродной пасты, футеровочных материалов (блоков) на основе углерода для предприятий металлургического, машиностроительного, химического и других комплексов промышленности.

Промышленная площадка ОАО «Укрграфит» входит в состав промышленного узла, расположенного в северо-восточном направлении основного жилого массива г. Запорожья, в его восточной части, на левом берегу р. Днепр. Основным фактором неблагоприятного влияния ОАО «Укрграфит» на окружающую среду, прилегающую жилую и общественную застройку является загрязнение атмосферного воздуха.

В состав предприятия входят следующие основные цеха: угольных заготовок, нефтяных заготовок, обжига, графитации и механической обработки графитированной продукции. В цехе обжига проводится обжиг прессованных («зеленых») и пропитанных заготовок в многокамерных кольцевых обжиговых печах закрытого типа № 5, (6-12), 7, (8-11) (источник 326) и в печи № 9 (источник 347) с газовым обогревом (природный газ) при температуре $1200 - 1250^\circ\text{C}$, а также очистка обожженных полуфабрикатов на станках.

Основным направлением деятельности цеха графитации является графитация обожженных заготовок различных сечений, поступающих из цехов нефтяных заготовок и обжига. Графитирование продукции проводится в печах сопротивления № 4, 5, 6, 7 секций (источники 403-405).

Для оценки экологической безопасности предприятия ОАО «Укрграфит» в жилой застройке на существующее положение выполнен расчет уровня приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Расчет выполнен с использованием программного комплекса «ПЛЕНЭР-1.25», разработанного СП «Интерэкс» (Киев, 1994 г.), основанного на «Методике расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий» (ОНД-86) [9] и согласованного с Минприроды Украины.

При выполнении расчётов были учтены коэффициенты рельефа местности, стратификации, значения температур и скорости ветра. Расчеты производились при средневзвешенных опасных скоростях ветра $V_{оп.}, 0,5 V_{оп.},$

$1,5 V_{оп.}, 0,5 \text{ м/с}, 4,0 \text{ м/с}.$ Перебор направлений ветра осуществлялся с шагом, равным 5 градусам. Поля максимальных концентраций рассчитывались для территории, представленной в виде расчетного прямоугольника размером сторон $3000\text{м} \times 3000 \text{ м}$ с шагом координатной сетки 250 м, и пяти точек в близлежащей жилой застройке.

Расчеты рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере проводились согласно критерию целесообразности (по ОНД-86 [9]): для следующих веществ: оксид углерода, стирол, бенз(а)пирен, нафталин, аценафтен, фенол, дибутилфталат, диметилсульфид.

Расчет рассеивания выполнялся с учетом фоновых концентраций согласно данным Государственного управления охраны окружающей природной среды в Запорожской области.

Анализ результатов расчета загрязненности атмосферного воздуха показал, что на существующее положение значения максимальных приземных концентраций от собственных выбросов предприятия по всем веществам в жилой зоне не превышают санитарно-санитарно-гигиенических норм (табл. 1).

Таблица 1 Значения максимальных приземных концентраций загрязняющих веществ в жилой застройке и перечень источников ОАО «Укрграфит», дающих наибольшие вклады в уровень загрязнения атмосферы

Наименование вещества	ПДК _{м.р.} , мг/м ³	Фоновая концентрация, мг/м ³	Максимальная концентрация с учетом фона, мг/м ³	Вклад источников* в максимальную концентрацию (без учета фона)
		доли ПДК	доли ПДК	
Оксид углерода	5,0	4,69	0,571 (5,26)	ист. 403 – 36,54 %; ист.326 – 21,74 %
		0,938	0,114 (1,052)	
Бензол	1,5	0,6	0,018 (0,618)	ист. 326 – 90,95 %
		0,4	0,012 (0,412)	
Стирол	0,04	0,016	0,011 (0,027)	ист. 326 – 84,66 %
		0,4	0,280 (0,680)	
Бенз(а)пирен	-	-	0,000010 (-)	ист. 326 – 60,15 %; ист. 347 – 27,07 %
		-	0,990 (-)	
Нафталин	0,003	0,0012	0,002 (0,003)	ист. 326 – 38,11 %; ист.403 – 32,18 %
		0,4	0,695 (1,095)	
Аценафтен	0,07	-	0,063 (-)	ист. 326 – 32,72 %; ист. 403 – 28,79 %
		-	0,902 (-)	
Фенол	0,01	0,004	0,007 (0,011)	ист.403 – 32,73 %; ист. 404 – 29,87 %; ист.405 – 27,02 %
		0,4	0,740 (1,140)	

Окончание табл. 1

Дибутилфталат	0,1	-	0,014 (-)	ист. 326 – 66,66 %
		-	0,137 (-)	
Диметилсульфид	0,08	0,032	0,017 (0,049)	ист. 347 – 70,64 %;
		0,4	0,220 (0,620)	ист.326 – 28,98 %

Примечание: ист. 326 – многокамерные кольцевые обжиговые печи закрытого типа №5, (6-12), 7, (8-11); ист. 347 – печь обжига №9; ист. 403 – печи графитации № 4, 5 – подины; ист. 404 – печь графитации № 5 – зонты; ист. 405 – печи графитации №6, 7 – зонты, подины.

Однако приземные концентрации на границе жилой застройки по ряду загрязняющих веществ, выбрасываемых источниками ОАО «Укрграфит», превышают санитарные нормы с учетом фоновое загрязнение. Максимальные приземные концентрации в близлежащей жилой застройке с учетом фона превышают санитарно-гигиенические нормы от выбросов оксида углерода, нафталина и фенола, и составляют соответственно 1,05 ПДК, 1,1 ПДК и 1,14 ПДК, что обуслав-

ливает необходимость проведения природоохранных мероприятий по минимизации выбросов этих веществ [10].

На существующее положение нормативы на выбросы, установленные согласно Приказу № 309, от печей обжига и графитации ОАО «Укрграфит» соблюдены для всех загрязняющих веществ, за исключением оксида углерода (табл. 2).

Таблица 2 Сравнительная характеристика фактических выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками ОАО «Укрграфит» с установленными нормативами на выбросы

Наименование загрязняющего вещества	Норматив предельно-допустимого выброса, мг/м ³	Фактический выброс на существующее положение, мг/м ³				
		№ источника выброса				
		326	347	403	404	405
Диоксид азота	500	10,25	14,4	42,9	40,04	51,5
Диоксид серы	500	11,44	14,3	4,2	4,6	4,2
Оксид углерода	250	998,8	1750	606,3	565	768,8
Бензол	5	4,74	3,91	0,18	0,16	0,18
Стирол	-	8,29	2,92	0,29	0,27	0,29
Бенз(а)пирен	0,1	0,03	0,1	0,00026	0,00024	0,00026
Нафталин	20	4,14	8,9	0,53	0,48	0,53
Аценафтен	-	85,27	75,49	1,96	1,79	1,96
Фенол	20	10,89	6,10	0,20	0,18	0,20
Дибутилфталат	-	10,10	5,17	0,23	0,21	0,23
Диметилсульфид	-	45,69	30,01	0,0	40,04	51,5

Разработка технических решений для защиты атмосферного воздуха от выбросов предприятий производства электродов

Для обезвреживания отходящих газов от печей обжига на предприятии ОАО «Укрграфит» применяется электрический способ очистки, в соответствии с которым отходящие газы в количестве $\approx 40000 \text{ м}^3/\text{ч}$ из борова направляются в электрофильтр типа С, где подвергаются очистке от смолистых веществ и затем вентилятором выбрасываются через дымовые трубы в атмосферу. Состав газовой фазы при этом не изменяется по CO , SO_2 и NO_2 , а концентрация смолистых веществ снижается на 80–90 %. Преимуществом этого

способа является простота аппаратного оформления процесса и низкая себестоимость очистки. Однако данный способ имеет существенный недостаток – газ очищается не от всех токсичных компонентов (CO полностью выбрасываются в атмосферу).

На сегодняшний день отходящие газы от печей графитации ОАО «Укрграфит» выбрасываются в атмосферу без очистки.

Для обезвреживания отходящих газов от печей обжига нами рекомендована двухступенчатая схема очистки, где на первой ступени газы из борова направляются в электрофильтр типа С и подвергаются очистке от

смолистых веществ, а на второй от оксида углерода в каталитическом реакторе, для обезвреживания отходящих газов печей графитации – только в каталитическом реакторе. Для каждой печи обжига и графитации необходим свой реактор.

Отходящие технологические газы печей обжига и графитации при помощи вентиляционной установки направляются через подогреватель, в котором нагреваются до температуры 200 °С для начала каталитической реакции за счет тепла дымовых газов, получаемых сжиганием природного газа, в реакторе каталитической очистки.

Согласно договору о научно-техническом сотрудничестве между ЗГИА и ОАО «Укрграфит», нами были разработаны технология получения и оптимальный состав каталитически активного интерметаллидного сплава для обезвреживания оксида углерода и углеводородов в выбросах ОАО «Укрграфит» для повышения экологической безопасности предприятия и соблюдения санитарно-гигиенических норм и нормативов на выбросы.

В качестве катализатора рекомендуется использовать разработанный нами состав: 30 % Ni + 10 % Co + 11 % Mn + 2 % Cu + 47 % Al [8].

Самым компактным и экономичным аппаратом является реактор циклонного типа с радиальным вводом газа, внутри которого установлены корзина с катализатором и примыкающий к ней трубчатый теплообменник [11]. Между корпусом реактора и наружной обечайкой катализаторной корзины образуется кольцевой канал, по которому транспортируются газовые потоки.

В таком реакторе одновременно протекают два процесса: каталитическое окисление СО и C_mH_n в слое катализатора и утилизация тепла. Очищаемый отходящий газ вначале подается через межтрубное пространство рекуперативной зоны, где он частично воспринимает тепло от очищенных отходящих газов, и коллектор в камеру смешения, в которую поступают горячие дымовые газы из топочной камеры.

Нагретые до необходимой температуры каталитического окисления отходящие газы направляются в катализаторную корзину с

насыпным слоем катализатора для окисления СО и C_mH_n до углекислого газа и воды. Горячие очищенные отходящие газы поступают в трубное пространство рекуперативной зоны и выводятся из аппарата при помощи дымососа в дымовую трубу.

Общий расход газа через реактор составляет 40000 м³/час, необходимый объем катализатора – 1,25 м³, высота слоя катализатора – 0,44 м, вес катализатора – 540 кг. Реактор представляет собой аппарат диаметром 1,9 м согласно ГОСТ 9617-67 и высотой 3,8 м.

При использовании разработанного катализатора полная очистка газов (99,9 %) от СО и C_mH_n печей обжига достигается при 300 °С при объемной скорости 32000 ч⁻¹, что обеспечивает невысокую энергоемкость способа, для обеспечения того же эффекта при обезвреживании отходящих газов печей графитации необходима более высокая температура (450 °С).

Катализатор разработанного состава работал в течение 720 ч при очистке отходящих газов печи обжига и 600 ч – печи графитации. Катализатор подвергался регенерации после снижения его активности до 95 % в результате закоксовывания смолистыми веществами.

Для оценки соблюдения санитарно-гигиенических норм в жилой застройке в зоне действия выбросов ОАО «Укрграфит» после установки каталитической очистки отходящих газов от печей обжига и графитации выполнен расчет уровня приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

После обезвреживания технологических газов от печей обжига и графитации приземные концентрации всех загрязняющих веществ, отходящих от этих источников, в жилой застройке будут на уровне фоновых значений (табл. 3), а также будут соблюдены нормативы на выбросы согласно Приказу № 309.

Согласно приведенной выше табл. 3, максимальная концентрация (с учетом фона) наблюдается для фенола (0,007 мг/м³), а для аценафтена и бенз(а) пирена на счет нецелесообразен.

Таблица 3 Значения приземных концентраций загрязняющих веществ в жилой застройке после очистки отходящих газов ОАО «Укрграфит» на разработанном катализаторе

Наименование вещества	ПДК _{м.р.} , мг/м ³	Фоновая концентрация, мг/м ³	Максимальная концентрация с учетом фона, мг/м ³
		доли ПДК	доли ПДК
Оксид углерода	5,0	4,69	0,0003 (4,69)
		0,938	7·10 ⁻⁵ (0,938)
Бензол	1,5	0,6	0,00003 (0,60)
		0,4	2·10 ⁻⁵ (0,4)
Стирол	0,04	0,016	0,00005 (0,016)
		0,4	0,001 (0,401)
Бенз(а)пирен	–	–	Расчет нецелесообразен
		–	
Нафталин	0,003	0,0012	0,00004 (0,0016)
		0,4	0,012 (0,412)
Аценафтен	0,07	–	Расчет нецелесообразен
		–	
Фенол	0,01	0,004	0,00007 (0,0041)
		0,4	0,007 (0,407)

Выводы

В результате анализа экологической безопасности предприятия ОАО «Укрграфит» по производству электродов было установлено, что:

– негативным фактором предприятия, непосредственно влияющим на окружающую природную среду и здоровье человека, являются выбросы в атмосферный воздух оксида углерода и углеводородов, таких как бензол, стирола, бенз(а)пирен, нафталин, аценафтен и фенол;

– концентрация оксида углерода в выбросах ОАО «Укрграфит» превышает нормативы на выбросы, установленные согласно Приказу Минприроды № 309, в 2-7 раз;

– концентрации нафталина, фенола и оксида углерода в атмосферном воздухе с учетом фона превышают санитарно-гигиенические нормы и составляют соответственно 1,1 ПДК, 1,14 ПДК и 1,05 ПДК.

Анализ экологической безопасности предприятия ОАО «Укрграфит» показал необходимость проведения природоохранных мероприятий по минимизации выбросов фенола, нафталина и оксида углерода ОАО «Укрграфит» для соблюдения санитарно-гигиени-

ческих норм и нормативов на выбросы согласно Приказу Минприроды № 309.

Разработан и рекомендован для внедрения на предприятии ОАО «Укрграфит» способ каталитического обезвреживания газовых выбросов от печей обжига и графитирования. После каталитического обезвреживания отходящих газов от печей обжига и графитации на разработанном интерметаллидном катализаторе приземные концентрации по всем загрязняющим веществам в жилой застройке будут на уровне фоновых значений и нормативы на выбросы согласно Приказу № 309 будут соблюдены для всех загрязняющих веществ.

Литература

1. Кожемякин Г.Б. Стратегия обеспечения качества воздуха в Европейском союзе и Украине / Г.Б. Кожемякин, К.В. Белоконь, В.Р. Румянцев // Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України: матеріали VII Всеукр. наук.-практ. конф. (15 груд. 2011 р., Запоріжжя): зб. статей – Запоріжжя: ЗДІА, 2011. – С. 10-13.
2. Денисов С.И. Улавливание и утилизация пылей и газов: [учебное пособие для студ. высш. учеб. зав.] / С.И. Денисов. – М.: Металлургия, 1991. – 320 с.

3. Виноградов С.С. Методы и оборудование для очистки и обезвреживания выбросов в атмосферу / С.С. Виноградов, И.А. Васильева // Экология производства. – 2007. – №1. – С. 39-43.
4. Ладыгичев М.Г. Зарубежное и отечественное оборудование для очистки газов. Справочное издание / М.Г. Ладыгичев, Г.Я. Бернер. – М.: Теплотехник, 2004. – 696 с.
5. Исследование каталитических свойств материалов на основе оксидов переходных металлов и церия / И.В. Романова, И.А. Фарбун, С.А. Хайнаков [и др.] // Доповіді Національної академії наук України. – 2008. – №10. – С. 154–159.
6. Борщ В.Н. Многокомпонентные металлические катализаторы глубокого окисления СО и углеводородов / В.Н. Борщ, Е.В. Пугачева, С.Я. Жук [и др.] // Доклады Академии Наук. – 2008. – № 419 (6). – С. 775–777.
7. Металлические катализаторы / Г.Д. Закумбаева, Н.А. Закарина, Л.А. Бекетаева, В.А. Найдин. – Алма-Ата: Наука, 1982. – 288 с.
8. Пат. 45154 України, МПК В01J25/00. Катализатор для очищення оксиду вуглецю і вуглеводнів / Б.П. Середа, К.В. Савела, Г.Б. Кожемякін [та ін.]; заявник і патентовласник Запоріж. держ. інж. академія. № u 2009 05588; заявл. 01.06.2009; опубл. 26.10.2009, Бюл. №20.
9. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: РД 52.04.212-86 (ОНД-86). Введ. 1987-01-01. Ленинград: ГИДРОМЕТЕО-ИЗДАТ, 1987. – 68 с.
10. Белоконь К.В. Про підвищення екологічної безпеки газових викидів металургійних підприємств / К.В. Белоконь // Металлургия: сб. науч. труд. – Запорожье, ЗГИА, 2011. – Вып. 25. – С. 164–169.
11. Батура П.И. Каталитические реакторы для дожигания отходящих газов / П.И. Батура // Кокс и химия. – 1991. – Вып. №5. – С. 32–34.

Рецензент: Н.В. Внукова, профессор, к.геогр.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 17 сентября 2015 г.