

СОЗДАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО БЛОКА ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ МУСОРОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 100 КГ/Ч

Пономаренко А.В., ассистент, Ведь В.Е., доктор техн. наук, профессор,
Краснокутский Е.В., ассистент

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков

Рассмотрен метод проектирования и расчета блока каталитической очистки газовых выбросов для мусороперерабатывающей установки производительностью 100 кг/ч.

The method of design and calculation of catalytic purification block of gas emissions for waste processing unit with performance 100 kg/h was considered.

Ключевые слова: каталитическая очистка, твердые отходы, газовые выбросы, мусоропереработка.

Постановка и актуальность задачи

Жизнедеятельность человека всегда была связана с образованием огромного количества разнообразных отходов. Резкий прирост населения и общее повышение уровня жизни привели к увеличению потребления товаров и, особенно, упаковочных материалов разового пользования, которые составляют более трети образующегося на сегодняшний день городского мусора. Количество образующихся твердых бытовых отходов (ТБО) в среднем на душу населения составляет 150–300 кг/год. При этом ежегодно масса ТБО увеличивается на 3 %, а в некоторых странах даже 10 % [1].

На сегодняшний день удельные показатели образования отходов по Украине в среднем достигают 250–300 кг в год на одного человека, а в больших городах – 330–380 кг в год. По данным работы [2] ежегодный прирост содержимого свалок возрастает на 70 млн м³ (11 млн т), всего накоплено около 1 млрд м³ (250 млн. т) ТБО.

Научно-производственной фирмой «Технология» Северо-Восточного научного центра Национальной академии наук Украины созданы мобильные и стационарные мусороперерабатывающие установки (МПУ) [3], способствующие устранению негативного влияния накопления твердых промышленных и потребительских отходов на среду обитания человека на сравнительно небольших территориальных объектах. Установки предназначены для обезвреживания твердых бытовых, горючих промышленных, пищевых и сельскохозяйственных отходов, непригодных к использованию лекарственных средств, ядохимикатов и т.п. При этом такие МПУ могут обслуживать определенное число производителей отходов на значительном территориальном пространстве без нанесения ущерба окружающей среде накоплением мусора или вывоза его на полигоны большегрузным автотранспортом не оснащенным каталитическими нейтрализаторами отходящих газов [4].

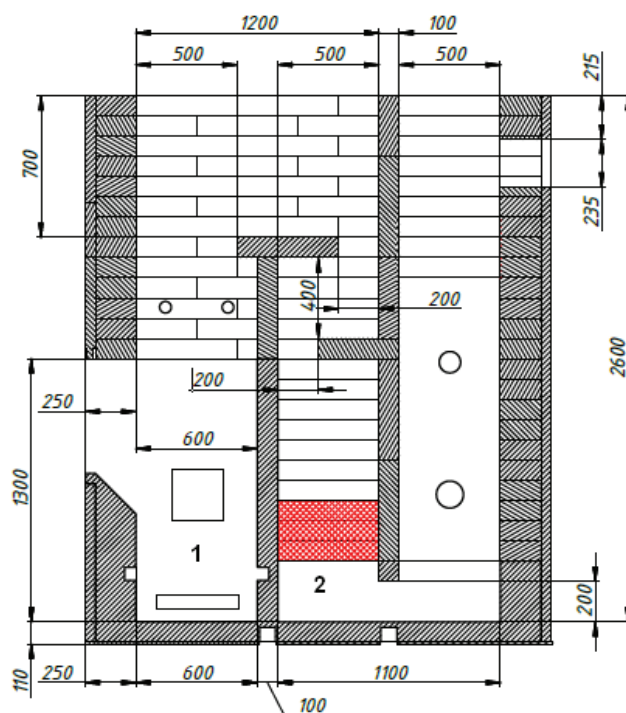
Одна из таких мусороперерабатывающих установок производительностью 100 кг/ч эксплуатируется морским торговым портом «Октябрьск» г. Николаев и предназначена для сжигания отходов, прибывающих в порт на пароходах. Состав отходов, поступающих на утилизацию, приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Отходы, поступающие на утилизацию МПУ морского торгового порта «Октябрьск» г. Николаева

| Состав | Содержание, % |
|---|---------------|
| Бумага, картон | 50–55 |
| Текстиль | 5–8 |
| Пластмасса | 15–20 |
| Пищевые отходы | 8–12 |
| Деревоотходы | 3–4 |
| Резина | 2–3 |
| Неорганические отходы (песок, камни, глина) | 6–8 |

Схема основных узлов установки термокаталитической утилизации отходов представлена на рис. 1. Каталитический нейтрализатор представляет собой совокупность керамических блоков, на рабочую поверхность которых нанесен катализатор. Процесс каталитической конверсии вредных газовых выбросов

протекает при температуре 800 °С.



1 – камера сжигания отходов; 2 – блок каталитических преобразователей

Рис. 1 – Схема основных узлов установки термокаталитической утилизации мусора

Проектирование каталитического блока

Для термокаталитической конверсии образующихся в МПУ углеводородов был создан каталитический преобразователь, представляющий собой профилированный отверстиями керамический носитель с нанесенными на его рабочую поверхность каталитически активными центрами на основе Co_3O_4 .

Керамический носитель изготовлен из смеси, составленной из кордиерита и корунда, взятых в соотношении 70:30, и алюмофосфатного связующего – 10 % (сверх 100 % сухого вещества).

Опыт эксплуатации трубчатых керамических каталитических преобразователей на МПУ различного диаметра показал [4], что каналы диаметром менее 17 мм склонны к закупорке их проходных сечений пылью и сажей, образующейся в результате термической утилизации отходов. Однако увеличение радиуса отверстий в керамическом блоке влечет за собой рост значения критерия Рейнольдса, что, в свою очередь, приводит к снижению степени термокаталитической конверсии углеводородов [5]. Это дало основание принять как наиболее рациональный диаметр отверстий в керамическом блоке, соответствующий 20 мм.

Известно [6], что шахматное расположение отверстий в керамическом блоке позволяет наиболее полно использовать рабочую поверхность. Поскольку параметры поперечного сечения каталитического блока соответствуют конструктивным размерам камеры – 0,6×0,5 м, то посредством уравнения 1 можно рассчитать максимально возможное количество отверстий (N) заданного диаметра

$$N = 1,27 \cdot f \cdot F / d_0^2, \quad (1)$$

где f – коэффициент живого сечения; F – площадь поперечного сечения каталитического блока, м^2 ; d_0 – диаметр единичного отверстия, $d_0 = 0,02$ м.

Значение f определяется уравнением (2) при известном расстоянии между центрами единичных отверстий ($s = 0,025$ м) [6]:

$$f = \left(\frac{0,82 \cdot d_0}{s} \right)^2. \quad (2)$$

Формула (1) позволила получить максимальное число отверстий диаметром 0,02 м в площади поперечного сечения 0,6м × 0,5м единичного каталитического блока – 441 шт.

Поскольку высота камеры 1 (рис. 1) составляет 1 м, то расчеты по определению оптимальной высоты каталитического блока выполнялись путем варьирования ее значений от 0,1 до 1 м. Изучение влияния поверхностной концентрации Co_3O_4 на степень термокatalитической конверсии углеводородов [7] показали, что данный показатель должен находиться в пределах 5–20 мг/см².

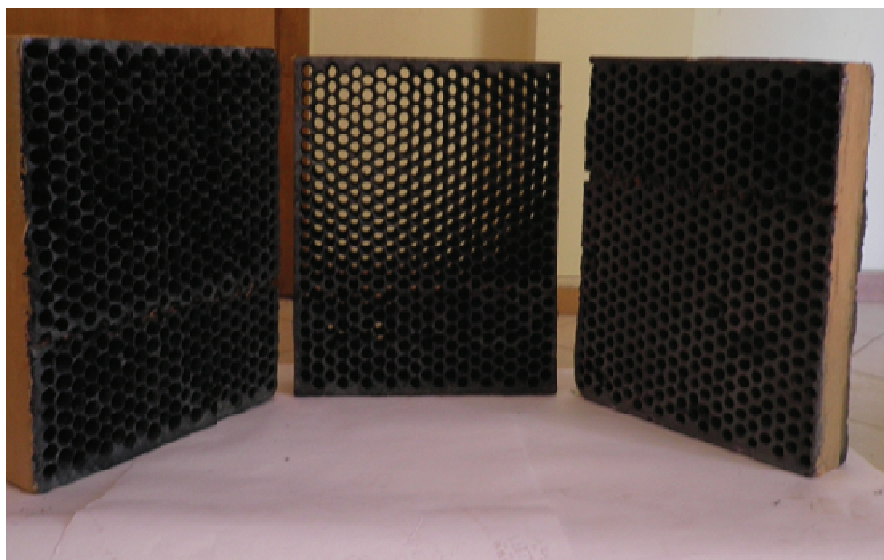


Рис. 2 – Внешний вид керамический блок с нанесенным катализатором Co_3O_4

Определение оптимальной высоты блока и, следовательно, поверхностной концентрации Co_3O_4 , необходимой для достижения максимальной степени конверсии углеводородов, были произведены в математическом пакете Octave с использованием уравнений (3) и (4) [8, 9] посредством расчетов степени конверсии в кинетической (x_k) и диффузионных областях (x_d).

$$x_k = 1 - \exp\left(-t_k \cdot K \cdot C_k^{0,547} \cdot \frac{S_k}{V_p}\right), \quad (3)$$

$$x_d = 1 - \exp\left(-\beta \cdot t_k \cdot \frac{S_k}{V_p}\right), \quad (4)$$

где t_k – время контакта газового потока с катализатором, с; K – константа скорости химической реакции, с⁻¹; C_k – поверхностная концентрация катализатора, мг/см²; S – площадь поверхности каталитического блока с катализатором, м²; V_p – объем каталитического блока, м³; β – коэффициент массоотдачи, м/с.

Обсуждение результатов

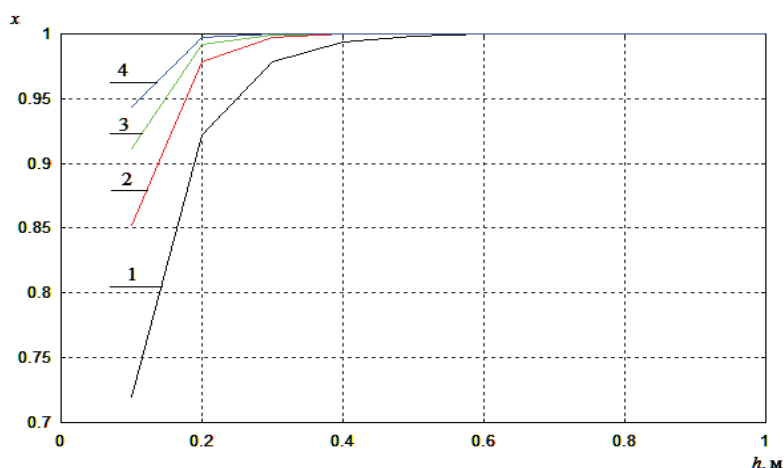
Результаты произведенных расчетов позволили получить матрицу, состоящую из 1500 значений степени превращения углеводородов, зависящих от высоты каталитического блока, поверхностной концентрации Co_3O_4 , концентрации углеводородов на входе в каталитический блок. Варьирование изучаемых параметров в указанных пределах позволило установить, что лимитирующей стадией гетерогенно-каталитического процесса конверсии углеводородов является стадия диффузии.

По полученным расчетным данным построена зависимость термокatalитической конверсии углеводородов от высоты каталитического блока (рис. 3) при различной поверхностной концентрации Co_3O_4 на носителе.

Для значений поверхностной концентрации Co_3O_4 выше 10 мг/см² (рис. 3) увеличение высоты каталитического блока более 0,3 м не является экономически оправданным, поскольку степень термокatalитической конверсии достигает для этих условий 98 % и выше. Для высоты блока 0,3 м наиболее оправданной является поверхностная концентрация Co_3O_4 15 мг/см².

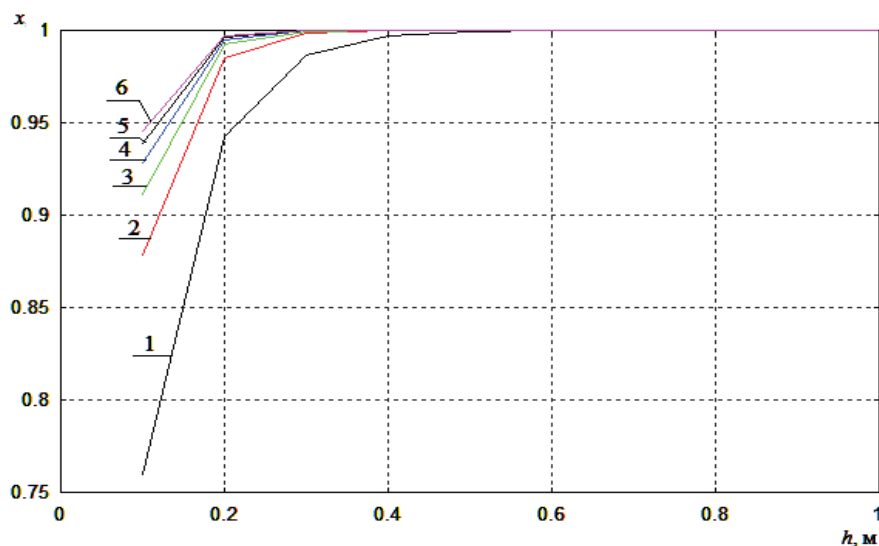
Поскольку в камеру термической утилизации отходов могут попадать включения с различным содержанием углеводородов, были произведены расчеты, учитывающие влияние концентрации углеводо-

родов на входе в каталитический блок на каталитическую эффективность такого преобразователя (рис. 4).



кривая 1 – 5; кривая 2 – 10; кривая 3 – 15; кривая 4 – 20

Рис. 3 – Зависимость степени термокаталитической деструкции углеводородов (x) от высоты каталитического блока (h, м) с поверхностной концентрацией Co_3O_4 на керамическом носителе, $\text{мг}/\text{см}^2$



кривая 1 – 10; кривая 2 – 30; кривая 3 – 50; кривая 4 – 70; кривая 5 – 90; кривая 6 – 110

Рис. 4 – Зависимость степени термокаталитической деструкции углеводородов (x) от высоты каталитического блока (h, м) с поверхностной концентрацией Co_3O_4 $15 \text{ мг}/\text{см}^2$ при начальной концентрации углеводородов $\text{г}/\text{м}^3$

Полученные данные, представленные на рис. 4, позволяют заключить, что увеличение концентрации углеводородов на входе в каталитический блок не сказывается негативно на его эффективности, а высота блока равная 0,3 м обеспечивает высокую степень очистки для всего интервала исследуемых концентраций углеводородов.

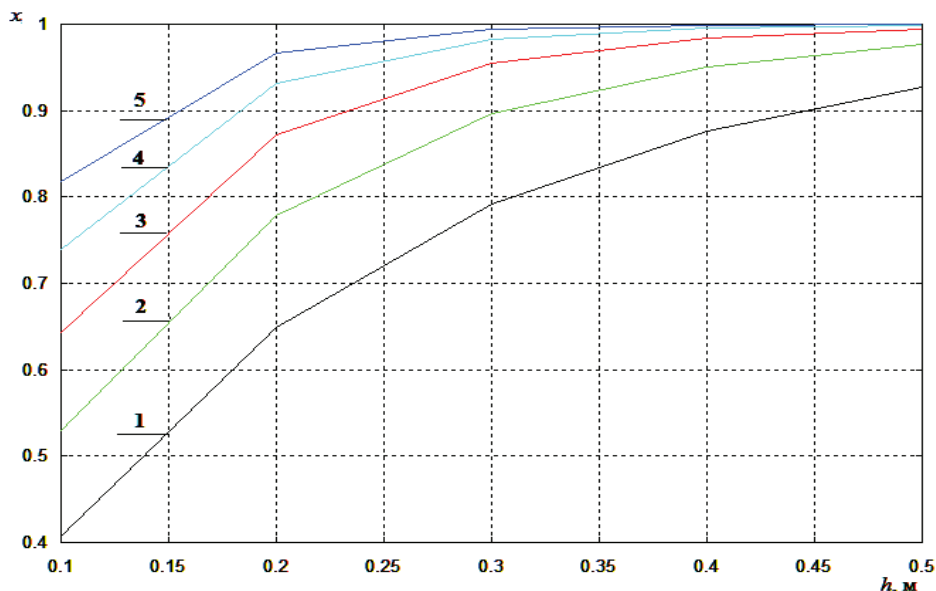
Также было изучено влияние температуры в каталитическом блоке на его каталитическую эффективность (рис. 5).

Результаты, представленные на рис. 5, приводят к выводу о том, что в каталитическом блоке высотой 0,3 м степень температурной конверсии углеводородов не опускается ниже 90% даже при падении температуры в нем до 600°C .

Выводы

Проведенные расчеты послужили основой для проектирования и изготовления каталитического преобразователя МПУ для морского торгового порта «Октябрьск» г. Николаева. Каталитический преобразо-

ватель представлял собой блоки керамического носителя состава кордиерит – корунд в соотношении 70:30 на алюмофосфатном связующем, полученные обжигом при температуре 300 °С, с последующим нанесением методом пропитки катализатора – Co_3O_4 . Размеры единичного блока составили $0,6 \times 0,5 \times 0,1$ м. Носитель состоял из трех блоков общей высотой 0,3 м. В продольном сечении каждого блока были сформированы 441 цилиндрических отверстия диаметром 0,02 м, расположенные в шахматном порядке. Поверхностная концентрация Co_3O_4 на носителе составляла 15 мг/см^2 .



кривая 1 – 500;
кривая 2 – 600; кривая 3 – 700; кривая 4 – 800; кривая 5 – 900

Рис. 5 – Зависимость степени термокаталитической деструкции углеводородов (x) от высоты каталитического блока (h, м) с поверхностной концентрацией Co_3O_4 15 мг/см^2 , начальной концентрации углеводородов 50 г/м^3 и при температуре °С

Эффективность работы газоочистного оборудования МПУ морского торгового порта «Октябрьск» определялась путем отбора проб в процессе его эксплуатации при использовании газоанализатора «Инфраклар» для определения содержания оксида углерода (II), а также фильтров АФА и жидкостных поглотителей типа Шотта с последующим анализом проб на хроматографе для прочих соединений, приведенных в табл. 2.

Таблица 2 – Количество выбросов от МПУ токсичных веществ до и после установки каталитического блока

| Наименование компонентов | Количество выбросов, кг/ ч | | |
|---|----------------------------|----------------------|-----------------|
| | до очистки | после очистки | степень очистки |
| Оксид углерода (II) | 15,2 | 1,54 | 99,2 |
| Полициклические ароматические углеводороды | 0,402 | 0,005 | 98,0 |
| Хлорсодержащие углеводороды | 0,101 | 0,0024 | 98,0 |
| Предельные углеводороды $\text{C}_3\text{--C}_{20}$ | 1,514 | 0,021 | 99,0 |
| Бенз(а)пирен | $0,135 \times 10^{-5}$ | $0,1 \times 10^{-9}$ | 99,72 |

Результаты, представленные в табл. 2, позволяют заключить, что разработанный каталитический блок отличается высокой эффективностью процесса очистки газовых примесей.

Литература

1. Горлицкий Б.А. Обращение с бытовыми и промышленными отходами // XIV Междунар. научно-практич. конф. «Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейна. Утилизация отходов». – Харьков – Щелкино, 2006. – С. 192
2. WasteECo: ежегодная выставка и конференция по природоохранным технологиям и обращению с отходами 2012 / Особенности образования твердых бытовых отходов в Украине / Михайленко В.П., Алексеевец И.Л., Денафас Г., Шмарин С.Л., Лучко И.А.
3. Ровенский А.И., Кухтик Е.В., Рыжавский А.З. Особенности термического обезвреживания бытовых отходов передвижной установкой // Вестник Национального технического университета "ХПИ": Сб. науч. тр. Тематический выпуск «Химия, химическая технология и экология». №3 – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2001. – С. 179–183.
4. L.L. Tovazhnyanskyu, V.E. Ved, V. A. Koshchii, A.I. RRovenskii, E.V. Krasnokutskii // Mobile Thermocatalytic Waste Processing Complex. Chemical Engineering Transaction. Volume 35. – 2013. – 16th Conference on Process integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction. – PRES'13. 29 September – 2 October 2013, Rhodes, Greece. – PART 2, – P. 907–912.
5. Пономаренко А.В., Ведь В.Е. Определение коэффициента массоотдачи в оформлении гетерогенно-каталитических процессов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – №2/6(68). – С. 42–46.
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение. – 1992. – 672 с.
7. Пономаренко А.В., Ведь В.Е. Влияние поверхностной концентрации катализатора на интенсификацию процесса массоотдачи в реакции термокаталитической деструкции бензола / Інтегровані технології промисловості. – 2013. – № 3. – С. 45–50.
8. Пономаренко А.В., Ведь В.Е. Термокаталитическое разложение бензола. Интенсификация процесса массоотдачи / Хімічна промисловість України. – №5 (112). – 2012. – С. 10–14.
9. Краснокутский Е.В., Ведь В.Е., Коций В.А., Пономаренко А.В. Стенд для изучения кинетических и газодинамических параметров каталитических процессов очистки газов / Інтегровані технології та енергозбереження. – № 2. – 2013. – С. 82–86.