



АЭРОДИНАМИКА КЕРАМИЧЕСКИХ РЕГУЛЯРНЫХ НАСАДОК ДЛЯ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В АППАРАТАХ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Александр Пушнов¹, Альгирдас Сакалаускас²

¹Кафедра промышленной экологии, Московский государственный университет инженерной экологии,
Старая Басманная ул., 21/4, 105066 Москва, Россия
Эл. почта: pushnovas@gmail.com

²ЗАО “Ekovana”, ул. Т. Жебрауско, 2 а, LT-14188 Вильнюс, Литва
Поступила 12 .01.2007; принята 7.04.200

Резюме. Предложена новая эффективная керамическая регулярная насадка для осуществления процессов тепло- и массообмена в аппаратах газоочистки. Предлагаемая насадка позволяет реализовать изотропную структуру зернистого слоя. Приведены результаты аэродинамических испытаний новой насадки.

Ключевые слова: насадка, тепло- и массообмен, аэродинамические испытания.

1. Введение

В химической, нефтегазовой и других отраслях промышленности при осуществлении процессов абсорбции, ректификации и очистки газов от вредных выбросов широкое распространение получили структурированные, а также структурные насадки ячеистой конфигурации (Дмитриева и др. 2005; Коморович и др. 2001). Оба этих типа относятся к регулярным пакетным насадкам, образующим объемную пространственную многоканальную структуру.

Структурированные насадки обычно выполняются в виде набора отдельных гофрированных листов, собранных в пакеты (блоки). Сами листы при этом могут быть изготовлены из полимерных, керамических и других материалов. Образующиеся при этом каналы имеют сложную пространственную конфигурацию. Наиболее распространенной структурированной насадкой такого типа в промышленности являются насадки фирмы Sulzer Chemtech (Швейцария).

Для очистки воздуха от различных загрязнений также находят применение разработанные в Вильнюсском техническом университете имени Гедиминаса биологические установки, основным элементом которых является фильтр с биоагрузкой (Baltrėnas *et al.* 2004; Vaiškūnaitė 2004). В качестве сорбента в биофильтрах используется дешевый и доступный материал – куски еловой коры различных фракций, например, 35, 25 и 12,5 мм (Vaiškūnaitė 2004; Балтренас, Загорскис 2006). Эффективность и перспективность таких биофильтров для очистки воздуха от вредных примесей несомненна. Однако использование в тонкослойных аппаратах кусков сорбента указанных линейных размеров и фракций затрудняет

организацию оптимальной однородной структуры зернистого слоя во всем поперечном сечении аппарата, описанного в работе (Vaiškūnaitė 2004). При этом время контакта микроорганизмов с загрязнениями в различных частях биофильтра, по-видимому, может существенно различаться.

В отличие от насыпных нерегулярных насадок регулярные структурированные (Дмитриева и др. 2005), как и структурные насадки (Коморович и др. 2001), обладают большей удельной поверхностью и одновременно существенно меньшим гидравлическим сопротивлением. Кроме того, структурированные листовые насадки позволяют избежать байпасирования контактирующих потоков из-за имманентно присущих насыпным нерегулярным слоям (например, кольцам Рашига и седлам Берля) явлений пристенной анизотропии (Пушнов 1987; Krasovickij *et al.*).

Однако известные листовые структурированные насадки не обладают свойствами изотропности. Они из-за особенностей своей конструкции организуют систему параллельных изолированных друг от друга каналов и поэтому не обеспечивают удовлетворительное поперечное перемешивание контактирующих потоков. Это обстоятельство отрицательно сказывается на эффективности осуществляемых в колонных контактных аппаратах химической технологии, а также и в теплоэнергетике (градирне) процессов.

Одним из возможных путей совершенствования класса структурированных насадок является создание объемной изотропной структуры на основе использования высокопористых ячеистых материалов (ВПЯМ) (Белов 1981).

Действительно, геометрическая структура указанных ВПЯМ практически полностью соответствует

определению изотропности и вполне может быть использована для изготовления нового поколения керамической насадки методом порошковой металлургии. Поскольку пористая структура основы ВПЯМ для изготовления насадки во многом определяет соответствующий уровень физико-химических свойств будущей насадки, при ее разработке рассматривались различные варианты. При этом предпочтение было отдано пористым полимерным материалам, а именно: широко используемому в промышленности пенополиуретану. Именно этот материал имеет полностью открытую, прозрачную, тонкую, изотропную, пространственную, объемную структуру практически без закрытых локальных дефектных макропор, могущих нарушить изотропность какого-либо фрагмента будущей насадки.

Другим важным преимуществом пенополиуретана как основы для изготовления новой насадки является легкость разрезания этого материала на отдельные куски любой заранее заданной произвольной формы.

Важно также отметить незначительную объемную долю пенополиуретана в общем объеме будущей насадки. По оценке С. В. Белова (1981) сам полимерный материал занимает не более 2,5 %. Таким образом, исходная доля свободного объема (порозность) фрагмента основы насадки из этого полимера может составить 97,5 %.

Что касается свойств полной изотропности элементов насадки, особенно важным является высокая исходная однородность структуры пенополиуретана, а также линейные геометрические размеры самих локальных микропор, образующих каркас будущей насадки. Существенно и отсутствие закрытых поровых каналов.

Общий вид насадок из ВПЯМ показан на рис. 1.



Рис. 1. Фото насадки из ВПЯМ

Fig. 1. Photo of sedimentation from high porosity material

Геометрической моделью элементарной ячейки порового пространства новой насадки из ВПЯМ является пентагондодекаэдр, структура которого показана на рис. 2 (Жельнис, Пушнов 1992).

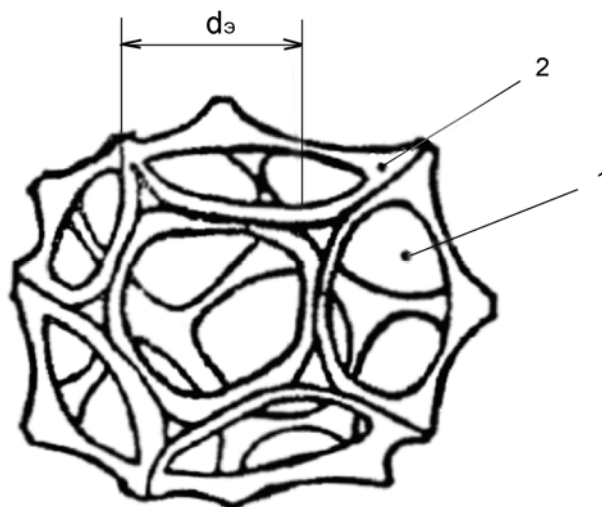


Рис. 2. Структура пентагондодекаэдрических ячеек материала насадки из ВПЯМ: 1 – поровый канал; 2 – стенка

Fig. 2. Structure of pentagondodecaedral mesh of sedimentation from high porosity material: 1 – porous channel; 2 – border

В последнее время появился ряд публикаций, посвященных изучению возможностей использования ВПЯМ в качестве промышленных насадок для осуществления процессов тепло- и массообмена в химической промышленности.

Так в работе Padeste *et al.* (1989) указывается перспективность использования пенoкeрaмичeских упаковок из кордиерита в качестве носителей для катализаторов. В своих опытах авторы названной работы основывались на известной методике определения распределения времени пребывания потока жидкости в слое насадки по вводу маркировочного вещества (метки). При этом для большей убедительности своих результатов Padeste *et al.* (1989) проводили опыты для двух случаев: насыпного слоя шаров диаметром 1, 2, 3 и 5 мм, а также пенoкeрaмичeских упаковок. Однако, как показали О. Levenspiel, J. C. R. Turner (1970), при использовании принципа измерения распределения времени пребывания с помощью метки должна быть полная уверенность в наличии плоского профиля скорости потока. Вопреки утверждению Padeste *et al.* (1989) со ссылкой на работу Cairns, Prausnitz (1959) для насыпных слоев шаров это условие как раз и не выполняется. Напротив, как следует из целой серии специальных исследований особенностей газораспределения в аппаратах с насыпными слоями шаров и зерен иной формы в широком диапазоне изменения чисел Рейнольдса, в слое шаров имеет место характерный профиль скорости с экстремальным всплеском вблизи стенок аппарата из-за большей рыхлости укладки шаров в этой области

(Пушнов 1987). Кстати, об этом же свидетельствуют и результаты работы Cairns, Prausnitz (1959). Последнее обстоятельство в определенной мере порождает сомнения и в других результатах Padeste *et al.* (1989), касающихся пенокерамических упаковок.

Таким образом, задача изучения аэродинамики таких насадок на основе керамических ВПЯМ остается актуальной.

Полевой и др. (1991) представили результаты опытов по изучению образцов пористых блоков из пенометаллов.

Однако опытные данные по основным геометрическим характеристикам пористых насадок из керамических материалов, изготовленных по технологии ВПЯМ, в литературе практически отсутствуют. Гидродинамика керамических насадок из ВПЯМ также остается недостаточно изученной.

Целью настоящей работы было изучение аэродинамических и геометрических характеристик регулярных пористых насадок из керамических материалов, а именно – потери напора и степени турбулентности потока в широком диапазоне нагрузок по газу.

2. Методы измерения

Ниже излагаются некоторые соображения по методам определения геометрических характеристик насадок из ВПЯМ и результаты изучения гидродинамики этих насадок.

К важнейшим геометрическим характеристикам насадок, как известно, относятся:

- доля свободного объема ε (порозность) [$\text{м}^3/\text{м}^3$];
- удельная поверхность $S_{\text{уд}}$ [$\text{м}^2/\text{м}^3$];
- эквивалентный диаметр $d_{\text{э}}$ [м].

Применительно к насадкам из ВПЯМ наиболее точным методом определения величины порозности следует считать метод взвешивания фрагмента насадки известного объема. Другой широко известный метод – заполнение пористой насадки водой – может в данном случае вносить значительные погрешности из-за пузырьков воздуха, остающихся в объеме пор насадки при ее заполнении водой. При известном удельном весе материала значение величины порозности насадки можно определять по соотношению:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\gamma_{\text{нас}}}{\gamma_{\text{м}}}, \quad (1)$$

где: $\gamma_{\text{нас}}$ – вес фрагмента насадки, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\gamma_{\text{м}}$ – удельный вес монолита (материала насадки), $\text{кг}/\text{м}^3$.

Удельную поверхность насадки из ВПЯМ из-за сложности геометрии ее формы целесообразно определять через известное гидравлическое сопротивление элемента сухой насадки по уравнению И. И. Гельперина, А. М. Кагана (1984):

$$S_{\text{уд}} = \left(324 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{W_o^2}{v_2^2} + \frac{0,04 \cdot \varepsilon^2 \cdot \Delta P}{v_2 \cdot H \cdot \rho_2 \cdot W_o} \right)^{0,5} + 18 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{W_o}{v_2}, \quad (2)$$

где: W_o – скорость газового потока в расчете на полное сечение пустого аппарата, $\text{м}/\text{с}$; v_2 – коэффициент кинематической вязкости газа, $\text{м}^2/\text{с}$; ρ_2 – плотность газа, $\text{кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$; ΔP – гидравлическое сопротивление слоя насадки, $\text{кг}/\text{м}^2$; H – высота насадочного слоя, м.

Определение величины ΔP для последующего расчета удельной поверхности насадки по методике И. И. Гельперина, А. М. Кагана (1984) производили по результатам продувки фрагмента испытуемой насадки со скоростью газового потока, соответствующей ламинарному режиму течения с преобладанием сил вязкости. Это условие объясняется тем, что измеряемое сопротивление должно быть обусловлено только трением о поверхность насадки.

По данным И. И. Гельперина, А. М. Кагана (1984) ламинарному режиму течения в зернистом слое соответствуют значения чисел Рейнольдса:

$$Re_{\text{э}} \ll 40, \quad (3)$$

где число Рейнольдса отнесено к эквивалентному диаметру зерна $d_{\text{э}}$,

$$Re_{\text{э}} = \frac{W_o \cdot d_{\text{э}}}{\varepsilon \cdot v_2}; \quad d_{\text{э}} = \frac{4\varepsilon}{S_{\text{уд}}}. \quad (4)$$

Первую серию опытов проводили на лабораторной установке в аппарате диаметром 100 мм. Высота опытного слоя насадки составляла 40 мм. Опорная решетка для насадки была выполнена в виде сетки из нержавеющей стали толщиной 1 мм с размером ячейки 7×7 мм. Схема установки представлена на рис. 3.

Во время опытов контролировали расход газовой фазы и потери напора в слое насадки. Расход газа, поступающего в опытный аппарат 4 с насадкой 5, измеряли диафрагмами 3, а потери напора – стандартным дифманометром 6 конструкции ТСХА с ценой деления шкалы 1 мм водяного столба.

Опыты проводили в диапазоне изменения нагрузок по газу, соответствующих средним линейным скоростям в расчете на полное сечение пустого аппарата от 0,3 до 1,2 $\text{м}/\text{с}$.

Схема опытного аппарата представлена на рис. 4.

Совокупность газораспределительных решеток 4 и хонейкомба 3 в соответствии с рекомендациями работы (Krasovickij *et al.* 2006) обеспечивала выравнивание поля скоростей газового потока на входе в испытуемый блок насадки 2. Профиль скорости контролировался во время предварительных опытов в пустом аппарате без насадки с помощью трубки Пито. Шаг перемещения трубки Пито в поперечном сечении аппарата 1 при этом составлял 10 мм.

Последующее полномасштабное исследование аэродинамики керамических образцов ВПЯМ выполняли на специально созданном стенде по испытанию одиночных элементов насадки (Пушнов 1988) в ЛЭИ (г. Каунас, Литва) с использованием прецизионного термоанемометрического оборудования системы „DISA 55M“.

Используемая аппаратура и опытный участок стенда представлены на рис 5.

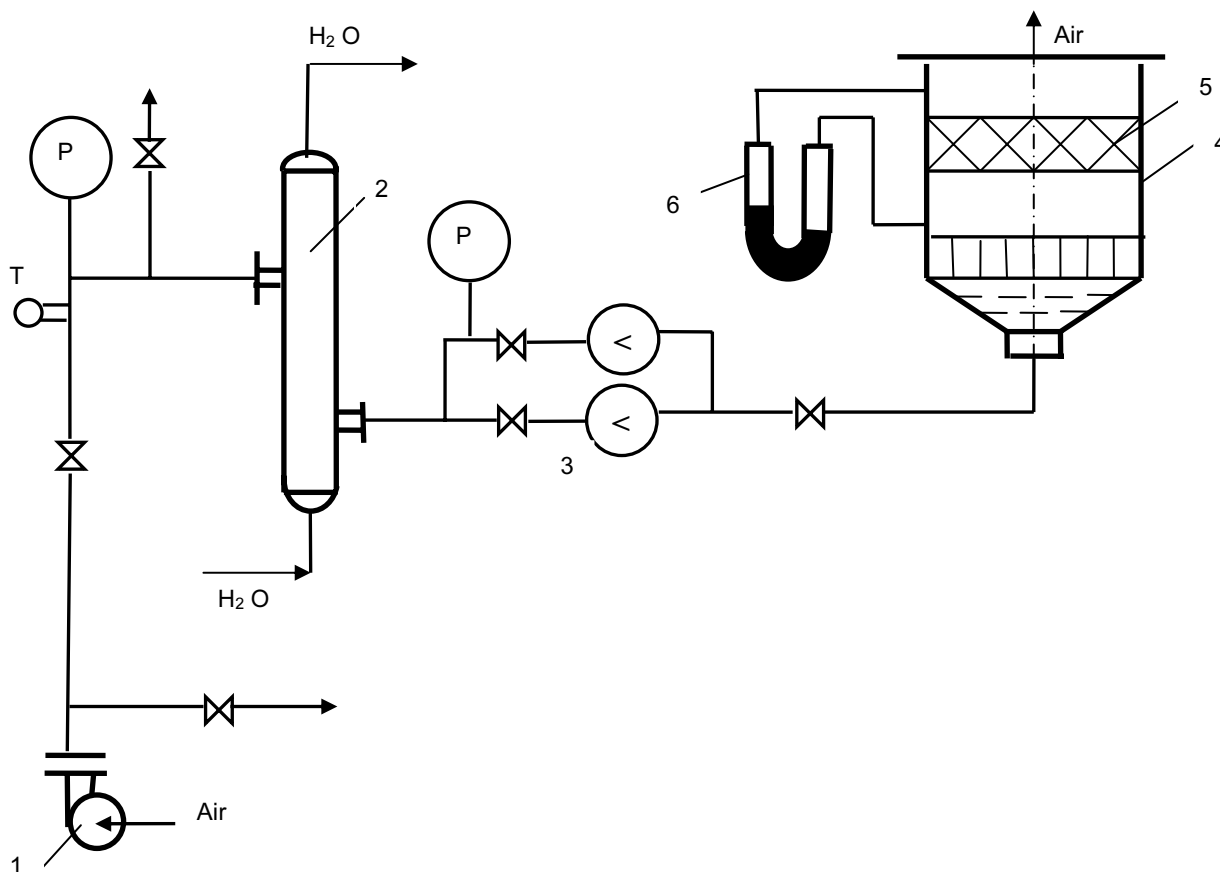


Рис. 3. Схема опытной установки: 1 – газодувка; 2 – теплообменник; 3 – диафрагмы; 4 – цилиндрический аппарат Ø 100 мм; 5 – блок насадки ВПЯМ; 6 – дифманометр

Fig 3. Scheme of experimental equipment: 1 – air tank; 2 – heater; 3 – diaphragms; 4 – cylinder mechanism Ø 100 mm; 5 – block of high porosity material sedimentation; 6 – difmanometer

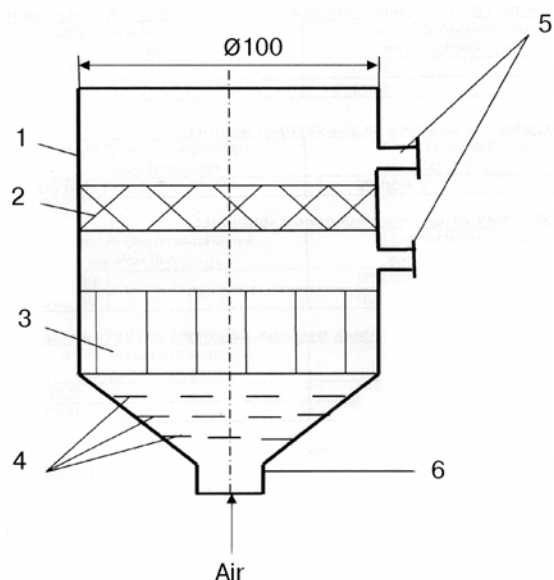


Рис. 4. Опытный аппарат: 1 – корпус; 2 – блок ВПЯМ; 3 – хонейкомб; 4 – решетки; 5 – патрубки отбора статического давления; 6 – входной штуцер

Fig. 4. Experimental apparatus: 1 – body; 2 – block high porosity material; 3 – xonecomb; 4 – grid; 5 – branch of static pressure; 6 – entering branch

Кроме указанной термоанемометрической аппаратуры, использовался магнитофон фирмы Lipeks и Фурье-анализатор фирмы Gevlet-Pakkard. Статическое давление измерялось датчиками и аналоговым прибором фирмы Göttingen Baldwin Messtechnik. Сама опытная установка представляла собой открытый аэродинамический контур. Так же, как и в первой серии опытов, опытный участок аппарата включал в себя выравнивающее газораспределительное устройство в виде перфорированных решеток и хонейкомба, что обеспечивало равномерность полей скоростей и интенсивности турбулентности в месте расположения изучаемого образца насадки.

Измерения профиля скоростей и степени турбулентности осуществляли непосредственно на выходе потока из исследуемого элемента насадки на расстоянии 10, 30 и 60 мм от среза сопла.

При этом диаметр испытуемого образца насадки составлял 50 мм, толщина – 20 мм, а размер пор в разных образцах варьировался в диапазоне от 0,4 до 1,8 мм. Помимо гидравлического сопротивления в этих экспериментах проводились специальные опыты по измерению степени турбулентности газового потока Tu от критерия Рейнольдса Re_D для образцов насадки с эквивалентным диаметром пор $d_s = 0,4; 0,9$

и 1,8 мм. Здесь Re_D – число Рейнольдса, отнесенное к диаметру колонны D .

$$Re_D = \frac{W_o \cdot D}{\nu} \quad (5)$$

В этой серии опытов числа Рейнольдса составляли: $Re_D = 6800; 15600; 27700$.

Степень турбулентности газового потока Tu оценивали (Liutikas, Gudzinskas 2001) по соотношению:

$$Tu = \sqrt{W_o'^2} / W_o, \% \quad (6)$$

где: $W_o'^2$ – среднее квадратичное отклонение от средней скорости потока, м/с.

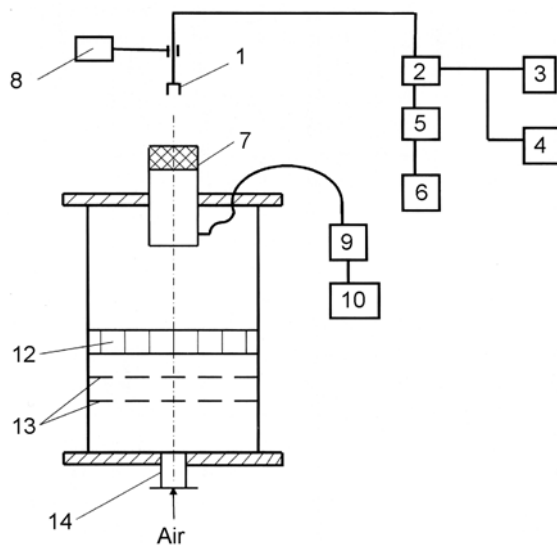


Рис. 5. Опытный участок стенда и измерительная блок-схема: 1 – датчик скорости; 2 – анемометр; 3 – вольтметр; 4 – квадратичный вольтметр; 5 – магнитофон; 6 – Фурье-анализатор; 7 – блок насадки ВПЯМ; 8 – механизм перемещения датчика скорости в осях „X–Y“; 9 – датчик статического давления; 10 – вторичный прибор для измерения давления; 11 – опытный аппарат; 12 – хонейкомб; 13 – газораспределительные решетки; 14 – входной штуцер

Fig. 5. Experimental section of bench and measuring block-scheme: 1 – velocity gauge; 2 – anemometer; 3 – voltmeter; 4 – quadratic voltmeter; 5 – tape recorder; 6 – analyser of Furje; 7 – block high porosity material of sedimentation; 8 – mechanism of moving velocity gauge by X-Y axes; 9 – static pressure gauge; 10 – second pressure gauge; 11 – experimental apparatus; 12 – honecomb; 13 – grid of gas distribution; 14 – entering branch

3. Результаты и их обсуждение

На рис. 6 представлены результаты гидравлических испытаний новой насадки из керамического ВПЯМ, разработанной для осуществления процесса газоочистки.

Испытуемая насадка имела следующие геометрические характеристики: линейные размеры пор – от 1,0 до 2,0 мм; $d_p = 1,5$ мм; масса 1 м^3 – 605,7 кг/м³; порозность – 0,89 м³/м³.

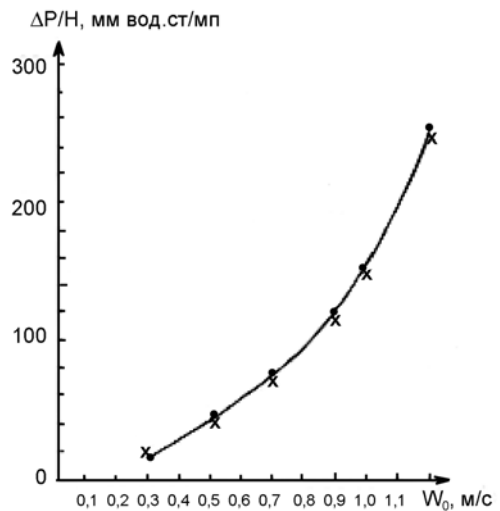


Рис. 6. Зависимость потери напора $\Delta P/H$ от линейной скорости воздуха W_o для сухой керамической насадки из ВПЯМ: ● – первые опыты; x – повторные измерения потери напора после завершения серии опытов по массообмену

Fig 6. Dependence of loss of pressure $\Delta P/H$ on linear air velocity W_o for dry ceramic sedimentation from high porosity material: ● – the first test; x – repeated measurement of pressure loss after a series of tests of mass transfer

Результаты опытов по измерению гидравлического сопротивления слоя насадки и степени турбулентности потока представлены на графиках (рис. 7).

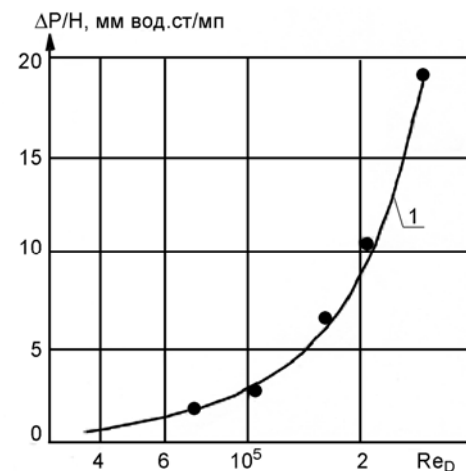


Рис. 7. Зависимость $\Delta P/H = f(Re_D)$ для сухой насадки из керамического ВПЯМ с эквивалентным диаметром пор $d_p = 1,8$ мм

Fig 7. Dependence $\Delta P/H = f(Re_D)$ for dry sedimentation from ceramic high porosity material with equivalent diameter of pore $d_p = 1,8$ mm

Как видно из сравнения результатов по продувке слоя зерен угля марки СКТ-2 и насадки из ВПЯМ при близких d_p , гидравлическое сопротивление у насадки ВПЯМ на порядок ниже, чем у слоя зерен СКТ-2 (рис. 8).

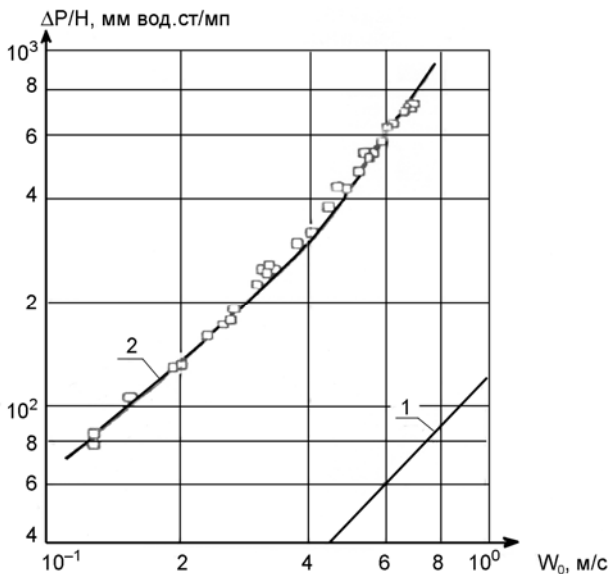


Рис. 8. Сравнение опытных данных по гидравлическому сопротивлению насадки из ВПЯМ с зернистым слоем из угля марки СКТ-2 по данным работы А. С. Пушнова (1987): 1 – ВПЯМ, $d_s = 1,5$ мм; 2 – СКТ-2, зерна размером $1,5 \times 5,13$ м, $d_s = 1,2$ мм
Fig 8. Comparison of experimental data on hydraulic resistance of sedimentation from high porosity material with granular layer from coal (mark SKT-2) according to this work (Пушнов 1987): 1 – ВПЯМ, $d_e = 1,5$ мм; 2 – SKT-2, grain size $1,5 \times 5,13$ mm, $d_e = 1,2$ mm

Результаты аэродинамических опытов во второй серии опытов представлены на рис. 9 и 10 в виде графических зависимостей профиля продольной составляющей скорости потока V и степени турбулентности Tu соответственно в пустом аппарате и в аппарате с насадкой ВПЯМ.

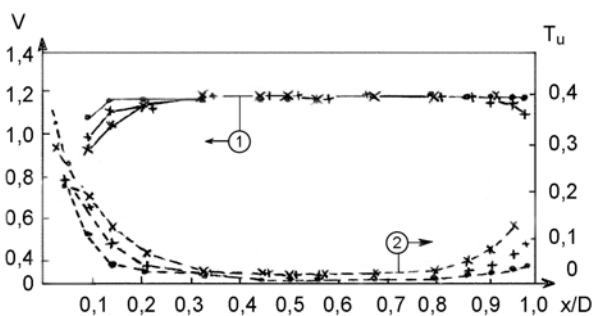


Рис. 9. Профиль продольной составляющей скорости потока (V) и степени турбулентности (Tu) в идентичных сечениях пустого опытного аппарата без насадки при расходе, соответствующем числу $Re_D = 24\ 400$, при различных расстояниях от среза сопла (опыты А. Сакалаускаса): ● – расстояние от среза сопла $h = 10$ мм; + – расстояние от среза сопла $h = 30$ мм; x – расстояние от среза сопла $h = 60$ мм
Fig 9. Profile of creasing longitudinal velocity of stream (V) and degrees of turbulence (Tu) in identical sections of empty experimental apparatus without sedimentation at the charge corresponding number $Re_D = 24\ 400$ at various distances from a cut tip (A. Sakalauskas' experiments): ● – distance from a cut tip $h = 10$ mm; + – distance from a cut tip $h = 30$ mm; x – distance from a cut tip $h = 60$ mm

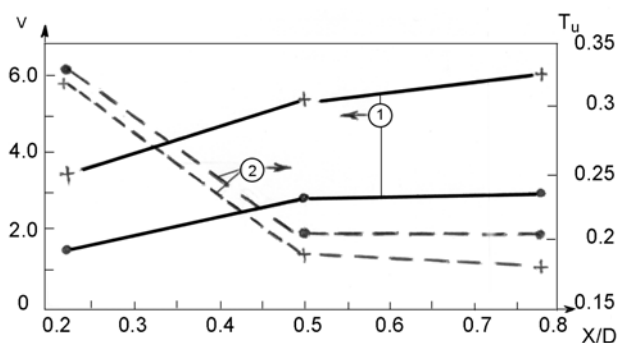


Рис. 10. Продольная составляющая скорости потока (V) и степени турбулентности потока в аэродинамическом следе за блоком насадки ВПЯМ при разных числах Re_D (опыты А. Сакалаускаса): ● – $Re_D = 6\ 800$; + – $Re_D = 15\ 600$
Fig 10. Longitudinal component of velocity of stream (V) and degrees of turbulence of stream in aerodynamic environment behind the block of sedimentation high porosity material at different numbers Re_D (A.Sakalauskas' experiments): ● – $Re_D = 6\ 800$; + – $Re_D = 15\ 600$

Проводилось также сравнение данных по величине степени турбулентности насадок ВПЯМ и неподвижного зернистого слоя. Сравнение показало, что величина Tu у всех испытанных образцов насадки ВПЯМ также в 3–10 раз ниже, чем параметр Tu у слоя зерен, где он, по данным работы А. С. Пушнова (1987), достигает 30–50 %. У насадки ВПЯМ испытанных образцов величина Tu находится в пределах от 4,6 до 16 % во всем испытанном диапазоне чисел Рейнольдса (рис. 11).

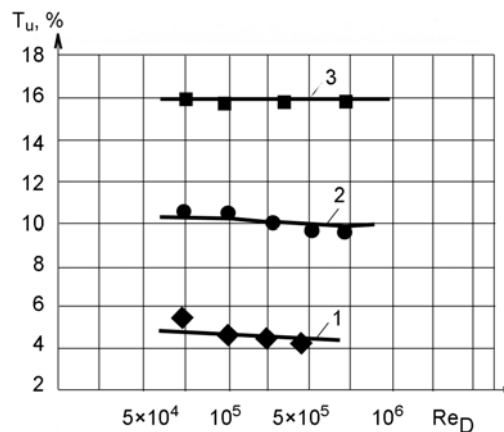


Рис. 11. Зависимость степени турбулентности потока Tu от числа Рейнольдса Re_D для насадки из керамического ВПЯМ с различным размером эквивалентного диаметра пор: 1 – $d_s = 0,4$ мм; 2 – $d_s = 0,9$ мм; 3 – $d_s = 1,8$ мм
Fig 11. Dependence of turbulence degree of stream Tu on Reynolds' number Re_D for sedimentation from ceramic high porosity material with different size of equivalent diameter of pours: 1 – $d_e = 0,4$ mm; 2 – $d_e = 0,9$ mm; 3 – $d_e = 1,8$ mm

Как видно из данных графика $V = f(X/D)$, представленных на рис. 10, продольная составляющая скорости потока V в аэродинамическом следе за бло-

ком насадки ВПЯМ при увеличении чисел Рейнольдса от 6 800 до 15 600 профиль продольной составляющей скорости в центральной части насадки остается практически плоским, так же, как и степень турбулентности потока. Данные по V и Tu при $X/D < 0,25$ (у краев насадки) не являются характерными из-за дефектов пор в этом месте насадки (см. рис. 1).

4. Выводы

Проведенные испытания аэродинамики новых керамических насадок из высокопористых ячеистых материалов показали перспективность керамических материалов для изготовления насадок ВПЯМ для многочисленных процессов химической технологии, в том числе при аппаратурном оформлении абсорбционных методов очистки от вредных газовых примесей для защиты окружающей воздушной среды.

Литература

- Балтренас, П.; Загорскис, А. 2006. Моделирование аэродинамических процессов в биофильтре, *Химическое и нефтегазовое машиностроение* 5: 41–42.
- Белов, С. В. 1981. *Пористые металлы в машиностроении*. Москва: Машиностроение. 248 с.
- Гельперин, И. И.; Каган, А. М. 1984. Развитие аэродинамических исследований неподвижного зернистого слоя, *Химическая промышленность* 12: 741–746.
- Дмитриева, Г. Б.; Беренгартен, М. Г.; Ключенкова, М. И.; Пушнов, А. С. 2005. Эффективные конструкции структурированных насадок для процессов теплообмена, *Химическое и нефтегазовое машиностроение* 8: 15–17.
- Жельнис, М. В.; Пушнов, А. С. 1992. *Фильтр для очистки жидкого металла от неметаллических включений*. А. с. СССР № 1708491 А1, В22С9/08, Б. И., № 4. 47 с.
- Коморович, Т.; Магера, Я.; Баранов, Д. А.; Беренгартен, М. Г. 2001. Высокоэффективные кольцево-структурные насадки, *Химическое и нефтегазовое машиностроение* 8: 8–19.
- Полевой, А. С.; Мамаев, А. В.; Пушнов, А. С.; Уборский, В. В. 1991. Свойства пеноблочных насадок массообменных колонн. *Высококачественные вещества* 4: 96–106.
- Пушнов, А. С. 1987. *Газораспределение в контактных и адсорбционных аппаратах с неподвижным зернистым слоем*: дис. ... канд. техн. н. Москва, ГИАП. 160 с.
- Пушнов, А. С. 1988. Экспресс-метод оптимизации конструкций элементов насадок, в *Тезисы докладов всесоюзного совещания „Теплообменное оборудование-88“*. Москва: Цинтихимнефтемаш, 137–138.
- Baltrėnas, P.; Zigmontienė, A.; Vaiškūnaitė, R. 2004. *Oro valymo biotechnologijos: monografija*. Vilnius: Technika. 207 p.
- Cairns, E. J.; Prausnitz, J. M. 1959. Velocity profiles in packed and fluidized beds, *Chemical Engineering Science* 51: 1441–1444.
- Krasovickij, J.; Baltrenas, P.; Kolbeschkin, B.; Dobrosotskij, V.; Koltsov, G. 2006. *Aerodynamische Verfahren zur Erhöhung der Leistungserzeugung der Entstaubung*: Monographie. Vilnius: Technika. 352 s.
- Levenspiel, O.; Turner, J. C. R. 1970. The interpretation of residence time experiments, *Chemical Engineering Science* 25: 1605–1609.
- Liutikas, N.; Gudzinskas, J. 2001. *Termohidromechanika*. Kaunas: Technologija. 215 p.
- Padeste, L.; Baiker, A.; Gabathuler, J. P. 1989. Verweilzeitverhalten von Flüssigkeiten in Schaumkeramik – Mischelementen, *Chem. – Ind. – Tech.* 61(6): 482–484.
- Vaiškūnaitė, R. 2004. *Research on and application of the biofilter with activated pine bark charge for air purification*: Summary of doctoral dissertation. VGTU. Vilnius: Technika. 20 p.

KERAMINIŲ REGULIARIŲ ANTGALIŲ AERODINAMIKA ŠILUMOS IR MASĖS PERNAŠOS PROCESAMS APLINKOS APSAUGOS ĮRENGINIUOSE VYKDYTI

A. S. Pušnov, A. Sakalauskas

Santrauka

Siūloma nauja keraminių reguliarių antgalių dinamika šilumos ir masės pernašos procesams aplinkos apsaugos įrenginiuose vykdyti. Siūlomas antgalis leis realizuoti poringojo sluoksnio izotropinę struktūrą. Pateikti naujo antgalio aerodinaminių bandymų rezultatai.

Reikšminiai žodžiai: antgalis, šilumos ir masės pernaša, aerodinaminis bandymas.

AERODYNAMICS OF CERAMIC REGULAR SEDIMENTATION FOR HEAT AND MASS TRANSFER APPARATUSES OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

A. S. Pushnov, A. Sakalauskas

Abstract

A new efficient ceramic regular sedimentation for heat and mass transfer in apparatuses of environmental protection is proposed. A new sedimentation realization with isotropic properties of a structure is offered. The aerodynamic test results of the new sedimentation are shown.

The paper describes a laboratory test facility designed for conducting aerodynamic investigation of cooling tower sedimentation. Measured parameters, data processing techniques and examples of the results obtained are discussed. The tested sedimentation is a porous layer of ceramic foam manufactured by special technology.

Keywords: sedimentation, heat and mass transfer, aerodynamic test.

Aleksandr PUSHNOV. Dr, Dept of Engineering, Moscow State University of Environmental Engineering. Doctor of Science, State Institute of Nitrogen Industry (GIAP) (Russia), 1987. Employment: reader (2005), senior lecturer (2004), Moscow State University of Environmental Engineering (MSUEE), Department of Engineering Ecology. First degree in Engineering, Moscow State University (MVTU) n. a. Bauman (1966). Junior research worker (1966), research worker (1970), senior engineer (1980), senior research worker (1985), head of Laboratory (1994), State Institute of Nitrogen Industry (GIAP) (Russia). Head of Laboratory of Packing “TSNTU RINVO”, Ltd, Moscow (2004). Publications: author of over 110 scientific publications. Research interests: packing for heat and mass transfer processes, aerodynamic industrial packing.

Algirdas SAKALAUSKAS. Dr, project manager, Joint Venture (UAB) “Ekobana”. Doctor of Science, Moscow Institute for Aviation, 1981. Employment: project manager, UAB “Ekobana” (since 2002); business development manager GEA PT Baltic (1997–2002); director of Rural Business Development Center (1996–1997); adviser to the Prime Minister of Lithuania (1995–1996); director of Joint Venture “Alcoma” (1992–1995); coordinator of international projects (1970–1991); junior researcher, senior researcher, head of a research unit, Lithuanian Institute of Energy. Publications: author of 1 monograph and more than 30 research papers (some of them published in USA).