

УДК 629.12.03

БАСОК Б.И., РЫЖКОВ С.С.

Институт технической теплофизики НАН Украины

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ УТИЛИЗАЦИИ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ДВУХФАЗНОМ ПОТОКЕ

Розроблено та створено експериментальну установку для дослідження процесів очистки газових потоків від рідких або твердих дисперсних частинок. В результаті проведених експериментів підтверджено ефективність осадження рідких дисперсних частинок аерозолю за рахунок явищ термофорезу. Збільшення ефекту вловлювання мікрочастинок за рахунок теплового впливу становить до 10 %. Визначено коефіцієнти сумарної і фракційної ефективності очищення елементів, що сепарують, у неізотермічних умовах газового потоку.

Разработана и создана экспериментальная установка для исследования процессов очистки газовых потоков от жидких или твердых дисперсных частиц. В результате проведенных экспериментов подтверждена эффективность осаждения жидких дисперсных частиц аерозоля за счет явлений термофореза. Увеличение эффекта улавливания микрочастиц за счет теплового влияния составляет до 10 %. Определены коэффициенты суммарной и фракционной эффективности очистки сепарирующих элементов в неізотермических условиях газового потока.

Experimental installation is developed and research of influence of gas clearing from liquid and fluid disperse particles is executed. By results of executed experiments efficiency of particle sedimentations due to thermophoresis experimentally confirmed. The extra charge due to thermal effect of catching microparticles makes up to 10%. Factors of total and fractional efficiency of separating elements clearing in not isothermal conditions are certain.

C – концентрация частиц аэрозоля;
 d – диаметр ячеек сетки, диаметр частиц;
 f – ширина канала;
 G – расход очищенного газа;
 l – длина канала, текущая длина;
 H – высота канала;
 m – масса;
 P – давление;
 R – радиус канала;
 S – площадь;
 T – температура;
 V – скорость;
 X – текущая координата;

α – коэффициент расхода;
 ρ – плотность среды;
 η_{Σ} – эффективность улавливания аэрозолей;
 η_i – коэффициент фракционной эффективности очистки;
 τ – время.
Индексы:
 0 – начальное состояние;
 K – коллектор;
 C – сопло канала;
 n – поток;
 $вх$ – на входе;
 $вых$ – на выходе.

Введение

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к изучению теплофизических процессов в дисперсных двухфазных средах на несущей газовой основе (смотри, например [1–4]). Это объясняется возрастающей ролью таких сред в технологических процессах энергетической, химической, нефтегазовой и др. отраслей промышленности.

Для интенсификации процессов теплообмена в двухфазных газовых средах и управления ими необходимо наличие достоверных экспериментальных данных.

Цель исследования

Для исследования осаждения дисперсных частиц создана экспериментальная установка, кото-

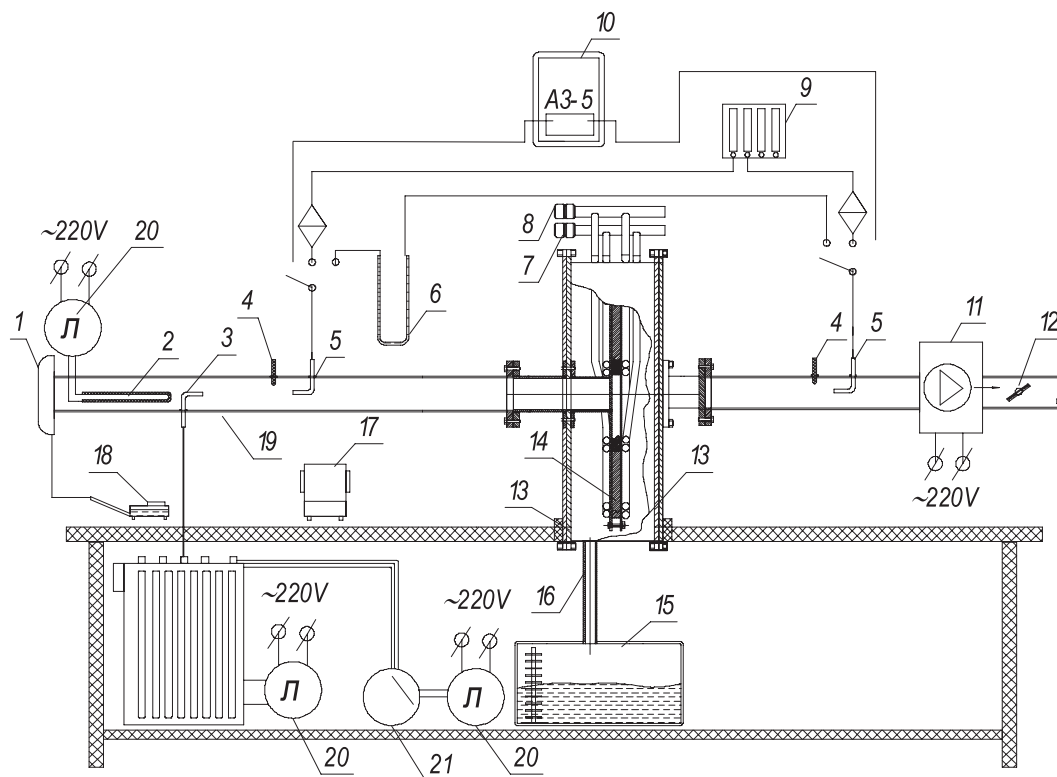


Рис. 1. Схема экспериментального стенда. Обозначения — в тексте.

рая представляет собой аэродинамическую трубу открытого типа, снабженную средствами измерения, регулировки и контроля (рис. 1).

Метод исследования

Одним из технологических направлений обработки аэрозольных систем является утилизация или рециклинг обработанной дисперсной среды. Модельная дисперсная среда создавалась следующим образом. Воздух через расходомерный коллектор 1 поступал в измерительный участок 19 и обтекал нагреватель 2, где его температура повышалась до 100 °С. Далее воздух перемешивался с высокодисперсным аэрозолем, поступающим из генератора с распылителем 3. Расход высокодисперсного аэрозоля (со средним диаметром капель 0,3...0,6 мкм) регулировался количеством подаваемого сжатого воздуха от компрессора 21 и автотрансформаторами 20. Расход воздуха через участок регулировался заслонкой 12, расположенной после нагнетателя 11. В участке 19 установлена термопара 4, пробозаборник в виде трубки полного давления 5. Далее распо-

лагался исследуемый рабочий участок (сепарирующий элемент) 13, входной и выходной патрубки которого соединялись с измерительным участком 19.

Перепады давлений на коллекторе 1 и сопротивление рабочего участка измерялись микроманометрами 18 и 6. Для измерения концентрации масла в воздухе использовался аспиратор 9 с аллонжами и торсионные аналитические весы 17. В рабочий участок подавалась холодная вода через патрубков 7, а отводилась через патрубков 8. Уловленная жидкость направлялась в мерную емкость 15 по патрубку 16. Испытуемые сепарирующие элементы устанавливались на жесткое основание.

Исследования выполнены на рабочем участке (рис. 2), в котором исследовался цилиндрический и плоский гладкий канал. Геометрия цилиндрического канала: радиус $R = 200$ мм, высота $H = 5, 10, 15, 20$ мм, площадь входного сопла $S_C = 7 \cdot 10^{-4}$ м². Геометрия плоского канала: длина канала $l = 200$ мм, высота $H = 5, 10, 15, 20$ мм, ширина $f = 50$ мм, площадь входного сопла $S_C = 5 \cdot 10^{-4}$ м².

Был исследован канал рабочего участка с охлаждением и без охлаждения рабочей поверхности (рис. 3).

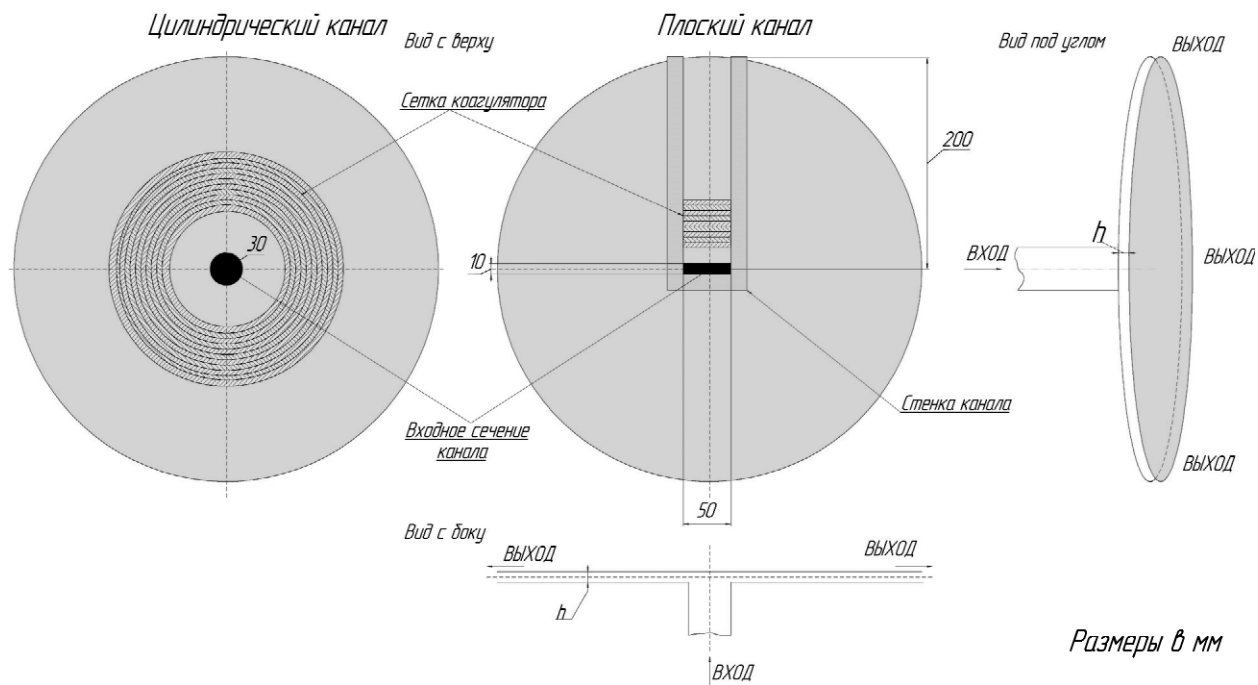
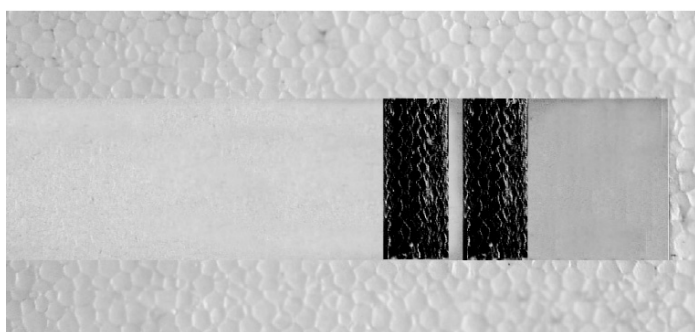
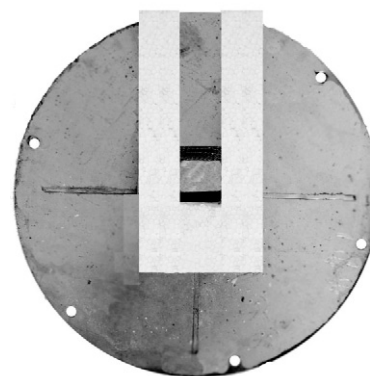


Рис. 2. Схема канала рабочего участка.



a



б

Рис. 3. Фото канала рабочего участка. Обозначения: а – плоский канал с 10 рядами сеток; б – плоский канал рабочего участка с 5 рядами сеток.

Для интенсификации осаждения частиц на стенках рабочего участка в канал были установлены коагуляторы, состоящие из 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 рядов сетки. Коагулятор представляет собой набор зигзагообразных сеток с различным диаметром ячеек (рис. 4).

Охлаждение стенок и коагулятора производилось с помощью спиральных медных змеевиков, изготовленных из медных труб диаметром $\varnothing 12 \times 0,1$ мм. Для надлежащего теплового контакта между охладителями и коагулятором змеевики

припаивались к пластикам припоем ПОССУ-40 с внешней стороны. С внутренних сторон пластин припаивался коагулятор 14. Это достигалось покрытием внутренних сторон пластин припоем, а затем выдержкой собранного охлаждаемого струйного модуля в печи при температуре $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение получаса. Вода подавалась в каждую секцию по патрубкам 7, 8 с температурой $10\text{...}22\text{ }^{\circ}\text{C}$ и направлялась по противотоку относительно газового потока. Малая высота коагулятора – от 5 до 15 мм, хороший тепловой контакт

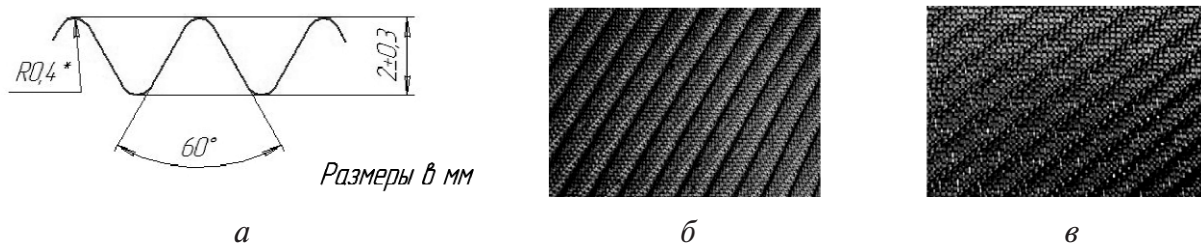


Рис. 4. Сетка коагулятора. Обозначения: а – схема коагулятора, б – сетка с $d=0,5$ мм, в – сетка с $d = 0,25$ мм.



Рис. 5. Гребенки термопар.

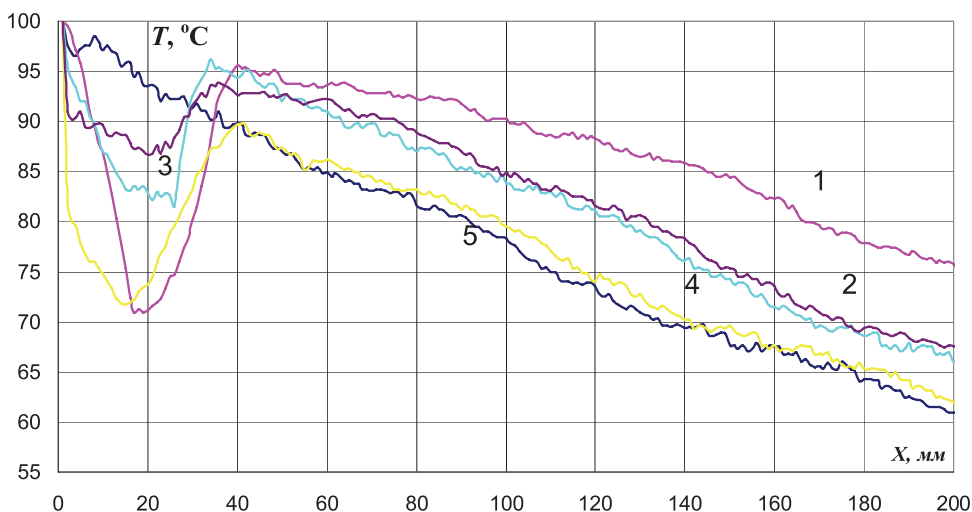


Рис. 6. Результат измерения температурного поля. Обозначения: 1 – в центре цилиндрического канала; на расстояниях от стенки: 2 – 8 мм; 3 – 2 мм; 4 – 1 мм; 5 – 9 мм.

с охлаждаемыми пластинами, высокая теплопроводность материала сеток, двухстороннее охлаждение обеспечивали температуру проволок, близкую к температуре пластины. В рабочем участке обеспечивалось глубокое охлаждение газа за счет увеличения расхода охлаждающей воды.

Температура газов в канале измерялась гребенками хромель-копелевых термопар с диаметром термоэлектродов 0,1 мм, которые подключались к универсальному преобразователю аналоговых сигналов, и результаты выводились на ПК. Были созданы 2 типа гребенок термопар (рис. 5).

Гребенка №1 подсоединялась к координатнику, который перемещал ее по длине канала, погрешность измерений составляла 0,2 мм. В канале высотой от 5 до 15 мм использовались 5 термопар гребенки, в канале 20 мм использовались 8 термопар. Было получено изменение температурного поля по длине канала. На рис. 6 представлены результаты измерений температурного поля в цилиндрическом канале с начальной скоростью $V_0 = 3$ м/с, температурой потока на входе $T_0 = 100$ °С и высотой $H = 10$ мм.

Гребенка №2 предназначалась для замера температурного поля в канале с помощью цифровых

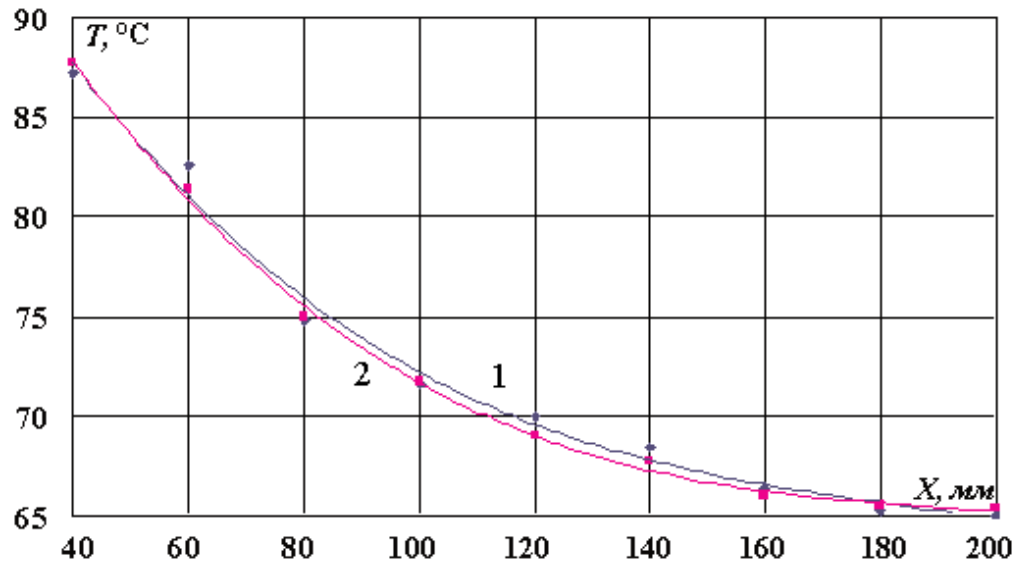


Рис. 7. Результат измерения температурного поля в цилиндрическом канале. Кривая 1 — на расстояниях 2 мм от стенки, 2 — 8 мм от стенки.

милливольтметров. На рис. 7 и рис. 8 представлены результаты измерений температурного поля в цилиндрическом и плоском канале соответственно с начальной скоростью $V_0 = 3$ м/с, температурой потока на входе $T_0 = 100$ °C и высотой $H = 10$ мм.

Экспериментальные исследования выполнены с использованием методов поверхностной индикации потока; расчет концентраций дисперсной фазы осуществлялся весовым методом при помощи аналитических фильтров и фотоэлектрических счетчиков и фотометров аэрозолей. Оптические измерения дисперсности и концентрации частиц производились при помощи фотоэлектрического счетчика аэрозольных частиц АЗ-5 и фотометра аэрозолей ФАН-У4.2 УХЛ. Погрешность измерения этими приборами не превышала 5 %. Отбор проб производился через заборные трубки, служившими одновременно трубками полного давления. При замерах соблюдались условия изокINETичности. Массовая концентрация частиц в потоке находилась отбором пробы дисперсной двухфазной среды аспиратором и пропускания ее через аналитические фильтры АФА. Фильтры АФА взвешивались на аналитических весах с погрешностью $\pm 0,1$ мг до и после взятия пробы. По привесу фильтра с учетом времени и расхода пробы газа определялась концентрация частиц по формуле

$$C = (m_{\text{вх}} - m_{\text{вых}}) / G\tau. \quad (1)$$

Расход масловоздушной среды определялся по перепаду давлений на расходомерном коллекторе, выполненном в виде профиля лемнискаты:

$$G = \alpha_K S_K \sqrt{\frac{2}{\rho} 9,81 \Delta P}, \quad (2)$$

где ΔP — разность давления окружающей среды и статического давления в коллекторе.

Эффективность улавливания аэрозолей исследуемыми элементами определялась по формуле

$$\eta_{\Sigma} = (1 - C_{\text{вых}} / C_{\text{вх}}) 100 \%. \quad (3)$$

Коэффициент фракционной эффективности очистки определялся при помощи счетчика аэрозольных частиц АЗ-5 по формуле

$$\eta_i = (1 - N_{i \text{ вых}} / N_{i \text{ вх}}) 100 \%, \quad (4)$$

где N_i — показания прибора АЗ-5 для i -й фракции дисперсного распределения.

Перепад давлений — аэродинамическое сопротивление уловителя частиц определяется по разнице давлений на входе $P_{\text{вх}}$ и выходе $P_{\text{вых}}$ из рабочего участка при помощи манометра и трубок полного давления, которые одновременно выполняют функцию пробоотборников.

В процессе экспериментальных исследований совершались как прямые, так и косвенные измере-

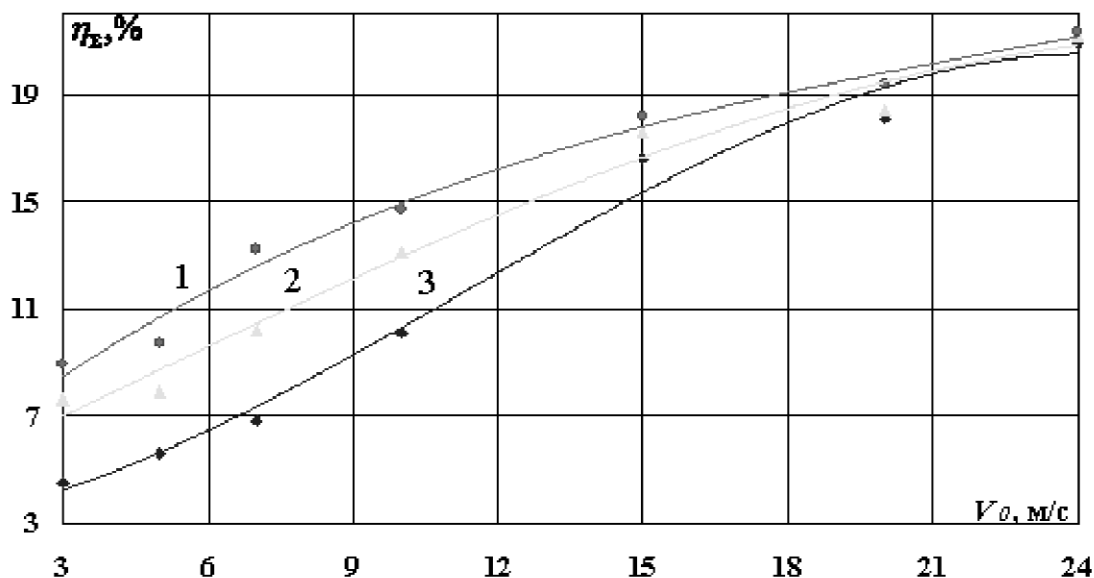


Рис. 8. Результаты стендовых исследований цилиндрического канала рабочего участка. Обозначения: 1 – при $T = 80^\circ\text{C}$, 2 – 50, 3 – 0.

ния. Выбранные методы измерения позволяли учесть систематическую составляющую погрешности; значение случайной составляющей погрешности определялось классом точности применяемых приборов. Поэтому случайные погрешности прямых измерений находились по метрологическим характеристикам приборов. Так, абсолютная погрешность определения изменения массы аналитических фильтров на весах типа ВРЛ составляла $\pm 0,5$ мг. Перепад давлений на чашечных манометрах определялся с абсолютной погрешностью $\pm 0,02$ мм вод. ст.; микроманометра типа МКВ – $0,01$ мм вод. ст.; U – образного – $\pm 0,5$ мм вод. ст. Относительная погрешность определения счетного числа частиц фотоэлектрическим счетчиком АЗ-5 и фотометром аэрозолей ФАН У4.2 составляла 5 %.

Результаты исследований

На рис. 8 представлены результаты стендовых исследований цилиндрического канала рабочего участка с входным соплом $S_C = 0,0007$ м², высотой канала $H = 10$ мм и средним диаметром частиц $d = 3 \cdot 10^{-6}$ м.

Выводы

1. Создан экспериментальный стенд для исследования процессов улавливания частиц высо-

кодисперсного аэрозоля, с помощью которого измерено температурное поле гладкого канала.

2. Определена зависимость осаждения частиц за счет термофоретической силы от скорости потока и перепада температур.

3. Установлено, что при увеличении скорости газового потока эффект термофореза уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжков С.С., Басок Б.И. Экологические ресурсосберегающие технологии для промышленной теплотехники на основе дисперсных двухфазных сред // Промышленная теплотехника. – 2001. – Т. 23, №4–5. – С. 141–145.
2. Рыжков С.С., Харитонов Ю.М., Благодатный В.В. Методы очищення повітряного середовища від забруднень: Методичні вказівки./ Миколаїв: УДМТУ. – 2002. – 56 с.
3. Ryzhkov S.S. “Jet- contact separator of exhaust gases of ship engines”/ Proceedings of the third international conference on marine industry// – Varna: Bulgaria, 2001. – 2. – P. 137 – 145.
4. Басок Б.И., Рыжков С.С. (мл) Термофоретическая очистка воздуха в энергетическом оборудовании. // Промышленная теплотехника. – 2003. – Т. 25, № 5. – С. 45–50.

Получено 03.11.2005 г.