

УДК 523.526

**ПРИЕМОВ С.И.***Институт технической теплофизики НАН Украины*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБУЛИЗАТОРОВ ГАЗОВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ

Отримано результати досліджень різних конструкцій турбулізуючих ґраток в аеродинамічній трубі, які дозволяють, в залежності від конкретних умов, вибирати найбільш ефективні за пилловловлюванням конструкції генераторів турбулентності, оцінювати оптимальні розміри їх елементів, розмір зони початкового формування турбулентності та розраховувати додатково створюваний ними гідравлічний опір.

Полученные результаты исследований разных конструкций турбулизующих решеток в аэродинамической трубе позволяют, в зависимости от конкретных условий, выбирать наиболее эффективные для пылеулавливания конструкции генераторов турбулентности, оценивать оптимальные размеры их элементов, величину начального участка формирования турбулентности и рассчитывать дополнительно создаваемое ими гидравлическое сопротивление.

The obtained results of research of various designs of turbulizing gratings in aerodynamic tube allow, depending on concrete conditions, to choose the designs of turbulence generators, most effective for the purposes dust-catch, to estimate optimum sizes of the elements, size of the elements, size of an initial site of turbulence formation and to count additional hydrodynamic resistance created by them.

$x$  – расстояние, отсчитанное от элемента вниз по потоку;  
 $x_0$  – длина начального участка формирования турбулентности за решеткой;  
 $z$  – расстояние, отсчитанное поперек течения от удаленной кромки турбулизатора;  
 $z_0$  – ширина начального участка формирования турбулентности на расстоянии 0,2 м вниз по потоку за решеткой;  
 $\zeta$  – коэффициент аэродинамического сопротивления.  
 $v$  – ширина перемычки элемента генератора турбулентности;

$M$  – размер ячейки генератора турбулентности;  
 $T_{i\infty}$  – интенсивность (или степень) турбулентности газового потока, определяемая соотношением осредненной во времени амплитуды пульсаций скорости в набегающем потоке к его средней скорости;

### Индексы:

$\varepsilon$  – экспериментальный;  
 $p$  – расчетный;  
 $cp$  – средний;  
 $opt$  – оптимальный.

Искусственная турбулизация газоздушных потоков применяется в технике с целью осуществления интенсификации процессов тепло- и массообмена [1], процессов сгорания топлива [2] и др. Осуществляется она обычно с помощью использования генераторов турбулентности различной конструкции за счет увеличения при этом пульсационных составляющих скорости газоздушных потоков.

Естественно предположить, что и для интенсификации процессов улавливания частиц пыли каплями жидкости в скрубберных процессах также будет целесообразно применение генераторов турбулентности.

В настоящей работе приведены данные по исследованию гидродинамических характеристик некоторых конструкций искусственных генераторов

турбулентности, которые в дальнейшем были с успехом применены для увеличения эффективности скрубберных процессов улавливания пыли [3].

При изучении полей средних и пульсационных составляющих скоростей воздуха исследованию подвергались решетки, изготовленные из металлического шестигранника с максимальной стороной грани 0,02 м и относительным шагом  $M/v = 4...7,5$  и решетки, образованные металлическими полосами шириной ( $v = 0,02...0,1$  м).

Поля средних и продольных пульсационных составляющих скорости воздушного потока за генераторами турбулентности исследовались в воздушном бесконечном потоке, создаваемом аэродинамической трубой Национального авиационного университета замкнутого типа с открытой рабочей частью – при скорости набегающего пото-

ка от 5 до 30 м/сек и степени начальной турбулентности  $Ti_{\infty} = 0,1...0,5$  %. Рабочая часть аэродинамической трубы эллипсообразной формы с осями 0,65...0,45 м. Крепление решетки и рабочей части аэродинамической трубы производилось с помощью стойки, на верхней раме которой устанавливался шестистепенный координатник, перемещающий зонд с установленным в нем датчиком термоанемометра.

Осредненная скорость воздушного потока и ее пульсационные составляющие измерялись термометрической системой фирмы «Диса-Электроник». Датчики термоанемометра тарировались в воздушном потоке, создаваемом аэродинамической трубой, по показаниям микроанометра ММН-250 СТУ79 1525-64, заправленного этиловым спиртом, давление от которого поступало от приемника воздушных давлений – трубки Пито-Прандтля с внешним диаметром  $3...10^{-3}$  м, диаметром приемных отверстий  $0,5...10^{-3}$  м. Измерение продольной пульсационной составляющей скорости потока производилось прямым датчиком Р13 ДИСА; для измерений других компонентов скорости использовался датчик Р12 ДИСА со скошенной под углом  $45^{\circ}$ , а пульсационные скорости при этом находились методом наклонной нити [4].

Коэффициент приемника воздушных давлений получен тарировкой по методике работы по эталонной шестиканальной насадке ЦАГИ [5].

Для определения интегрального масштаба турбулентной диффузии совместно с системой 55М ДИСА использовался анализатор спектра 1614 фирмы «Брбль и Кьер» и самописец типа 2305 той же фирмы.

Продольный масштаб турбулентности оценивался по измеренным спектрам Фурье [6].

Для оценки коэффициентов лобового сопротивления ( $\zeta$ ) генераторов турбулентности использовались трехкомпонентные аэродинамические весы АВНК, конструкция которых и методика измерений подробно изложены в работе [7].

В качестве генераторов турбулентности были исследованы следующие устройства:

– Р4 – решетка, образованная шестиугольником (ширина грани 0,02 м с размером ячейки 0,12...0,12 м с установленным в центре решетки двугранным уголком из стального листа  $\delta = 0,002$  м);

– Р4(1) – решетка Р4, по оси которой закреплен двугранный угол, раскрытый навстречу потоку;

– Р4(2) – решетка Р4, двугранный угол которой раскрыт по потоку;

– Р4(3) – решетка Р4, двугранный угол которой раскрыт по потоку и закрыт наглухо третьей гранью;

– Р7 – решетка, образованная шестиугольником с размерами ячейки 0,12...0,12 м и с креплением в ее центральной части металлической полосы шириной 0,1 м ( $\delta = 0,001$  м);

– Р8 – решетка Р7, но с шириной полосы 0,05 м;

– Р9 – металлическая единичная полоса шириной 0,02 м ( $\delta = 0,002$  м).

Датчик «Р13» при измерении степени турбулентности  $Ti_{\infty}$  устанавливался за кромками решеток на расстоянии 0,28 мм от них вниз по течению потока.

На рис. 1 приведены результаты исследований, из которых следует, что наиболее сильное влияние на  $Ti_{\infty}$  оказывает решетка Р8.

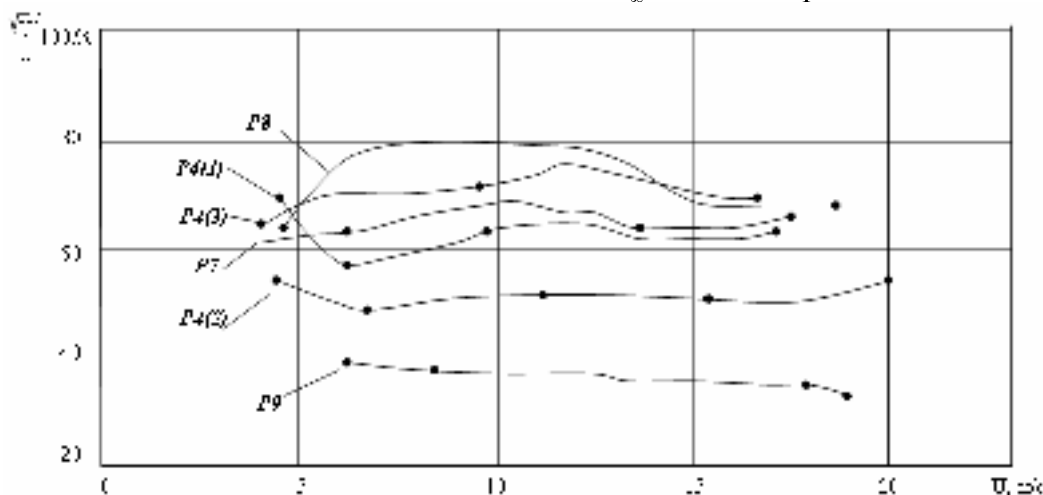
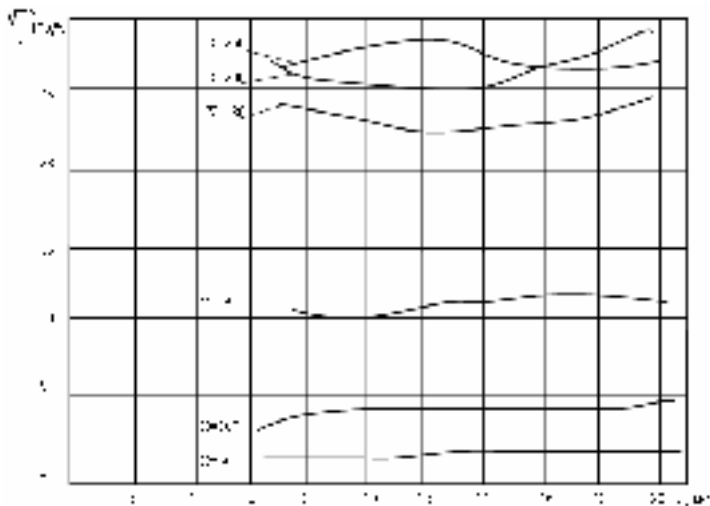


Рис. 1. Зависимость величины  $Ti_{\infty}$  для различных генераторов турбулентности от скорости воздуха (на расстоянии 0,28 м от турбулизаторов).

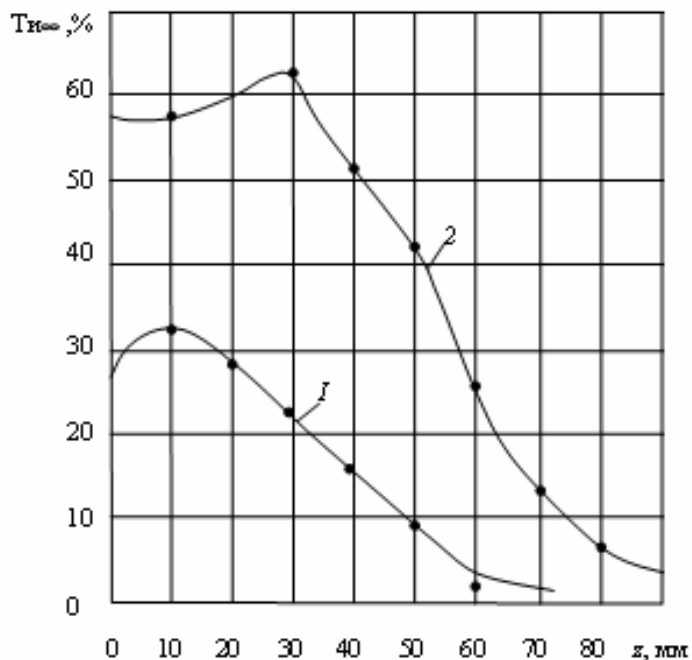
Для оценки влияния на величину  $Ti_{\infty}$  расстояния от турбулизатора до места замера на рис. 2 приведены результаты исследования потока за решеткой из шестигранника (сторона грани 0,02 м) с размером ячейки  $M = 0,08$  м. Из рис. 2 видно, что для такого турбулизатора оптимальным, с точки зрения получения максимальной величины  $Ti_{\infty}$ , является расстояние 0,20...0,25 м вниз по течению потока.



**Рис. 2. Зависимость величины  $Ti_{\infty}$  для шестигранника ( $M = 0,08$  м) от скорости воздуха и расстояния от турбулизатора до места замера.**

Исследованием турбулизации потока решетками различной конструкции установлено, что турбулизирующие свойства решеток из полос в 2...2,5 раза выше, чем у решеток из шестигранника, что видно из рис. 3, на котором показаны зависимости продольной пульсационной составляющей шестигранника (сторона грани 0,02 м) и полосы шириной 0,02 м, расположенной своей плоскостью перпендикулярно потоку – в зависимости от координат  $x$  – расстояние, отсчитанное от элемента вниз по потоку, м;  $z$  – расстояние, отсчитанное поперек течения от удаленной кромки турбулизатора, м).

Известно, что в аэродинамической трубе область изменения  $Ti_{\infty}$  за решетками можно условно разделить на три участка: начальный участок формирования турбулентного поля за решеткой и на начальный и конечный участки затухания турбулентности [2].



**Рис. 3. Зависимость величины  $Ti_{\infty}$  от расстояния «z», при замерах на расстоянии  $x=180$  мм от генератора: 1 – турбулизатор в виде шестигранника (сторона грани 0,02 м); 2 – турбулизатор в виде пластин.**

Для теории аэрозолей, с точки зрения получения максимальной степени очистки в пылеуловителях (при условии создания в зоне очистки повышенных степеней турбулентности), весьма важным является оценка длины начального участка формирования турбулентного поля за решеткой ( $x_0$ ). Поэтому были выполнены специальные исследования по оценке величины ( $x_0$ ) для наиболее эффективного генератора турбулентности – из полосовой стали с шириной перемычки ( $b = 0,02...0,1$  м).

В результате установлено, что у всех исследованных полосовых генераторов турбулентности длина начального участка формирования турбулентного поля за решеткой ( $x_0$ ) составляет величину, примерно, равную  $x_0 = 3...4$  м, что удовлетворительно коррелирует с данными работы [2] для различных решеток других профилей при скорости газового потока 20...60 м/с.

В табл. 1 приведены результаты исследования коэффициентов гидравлического сопротивления  $\zeta^2$  генераторов турбулентности в зависимости от ширины перемычки.

Табл. 1. Зависимость величины  $\zeta^3$  от ширины перемычки «в» из полосовой стали

в, м	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,1
$\zeta^3$	1,6	1,52	1,46	1,42	1,4	1,36	1,3	1,16
$\zeta^p$	1,6	1,53	1,47	1,416	1,361	1,31	1,26	1,16

Данные табл.1 удовлетворительно описываются зависимостью вида:

$$\zeta^3 = 1,73 \exp(-4b). \quad (1)$$

Среднее отклонение приведенных в табл.1 расчетных по (1) и экспериментальных значений  $\zeta$

допустимо и составляет всего 1,44 %.

В табл. 2 приведены результаты исследования величин степени турбулентности  $Tи_\infty$  в поперечном к потоку направлении на расстоянии от турбулизатора  $x = 0,18$  м.

Табл. 2. Значения величин степеней турбулентности  $Tи_\infty$ , % в зависимости от ширины перемычки «в» и величины расстояния «z» (при  $x = 0,18$  м)

z, м	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,12	( $Tи_\infty$ ) <sub>ср</sub> , %
в=0,02	26	14	7	4	4	4	9,83
в=0,03	35	18	10	4	4	4	12,5
в=0,04	58	55	50	40	4	4	35,16
в=0,05	50	50	53	50	36	20	43,0
в=0,06	43	43	45	42	52	40	44,0

В табл. 3 приведены результаты исследования величин ширины начального участка формирования турбулентного поля за решеткой при максимальном значении степени турбулентности

$Tи_\infty = 50$  %, которые, в принципе, могут быть приняты за оптимальные при конструировании решетчатых генераторов турбулентности ( $M_{\text{опт}}$ ).

Табл. 3. Значения величин « $z_0$ » для полосовых в зависимости от ширины перемычки «в» (при  $x = 0,2$  м и  $Tи_\infty = 50$  %) генераторов турбулентности

в, м	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
( $Tи_\infty$ ) <sub>ср</sub> , %	50	50	50	50	45	49	49	48	50
( $z_0$ ) <sup>3</sup> , м	0,05	0,08	0,10	0,136	0,13	0,162	0,2	0,23	0,26
$z_0/v$	5	4	3,3	3,4	2,6	2,7	2,86	2,87	2,89
( $z_0$ ) <sup>p</sup> , м	0,07	0,084	0,1	0,12	0,14	0,166	0,197	0,233	0,277

С целью получения максимально достигнутых в опытах значений величин  $Tи_\infty$  в конце начального участка формирования турбулентности выполнена

оценка значения оптимальной величины размера ячейки турбулизирующей решетки  $M_{\text{опт}}$  в зависимости от ширины перемычки элементов решетки.

Эта величина удовлетворительно описывается зависимостью:

$$(z_0)^p = M_{\text{опт}} = 0,06 \exp(17v). \quad (2)$$

Среднее отклонение приведенных в табл. 3 значений  $(z_0)^p$  от  $(z_0)^p$  незначительно и составляет всего 8,4 %.

### **Выводы**

Полученные результаты исследования позволяют, в зависимости от конкретных условий, рассчитывать наиболее эффективные для целей пылеулавливания конструкции генераторов турбулентности, оценивать оптимальные размеры их элементов и рассчитывать дополнительно создаваемое ими гидравлическое сопротивление.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Дыбан Е.П., Эпик Э.Я. Тепломассообмен и гидродинамика турбулизированных потоков. – Киев.: Наукова думка, 1985. – 298 с.
2. Раушенбах Б.В., Белый С.А., Беспалый И.В. и др. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно – реактивных двигателей – М.: Машиностроение, 1964. – 526 с.
3. Приемов С.И., Таньковский Р.Ю. Мокрый пылеуловитель. А.с. №1422438 – 1981.– ДСП.
4. Краснов Н.Ф. Прикладная аэродинамика. – М.:Изд. Высш.школа, 1974.
5. Comte-Bellot G. Hot – wire anemometry//Ann. Rev.Fluids Mech. – 1976. – 8.– P. 209 – 231.
6. Мартынов А.К. Экспериментальная аэродинамика. – М.:Оборонгиз – 1958.
7. Хинце И.О. Турбулентность, ее механизм и теория. – М.:Физматгиз, 1963. – 680 с.
8. Горшенин Д.С., Мартынов А.К. Руководство к практическим занятиям в аэродинамической лаборатории. – М.: Машиностроение, 1967. – 224 с.

*Получено 27.01.2009 г.*