

ПОВЫШЕНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРОВ С КОРОТКИМ ДИФфуЗОРОМ ПРИ РАБОТЕ В ЗАВИХРЕННОМ ПОТОКЕ

Н. Ю. Филькин, В. Л. Юша, А. А. Капелюховская

Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

Рассмотрен вопрос повышения газодинамической эффективности газовых фильтров с коротким диффузором при работе в завихренном местным сопротивлением потоке. Авторами проведены численные и экспериментальные исследования газового фильтра в завихренном потоке с установкой и без установки в проточной части короткого диффузора концентрических направляющих. Результаты исследований подтвердили работоспособность таких направляющих в завихренном потоке, а также повышение газодинамической эффективности газового фильтра по сравнению с вариантом без направляющих.

Ключевые слова: газовый фильтр, короткий диффузор, газодинамическая эффективность, завихренный поток, концентрические направляющие, профиль поля скоростей, аэродинамическое сопротивление.

Введение

Анализ работы газовых фильтров с коротким диффузором в системах жизнеобеспечения позволил выявить два критерия их газодинамической эффективности [1–3]:

1. Аэродинамическое сопротивление, возникающее, в том числе, и по причине вихреобразований в проточной части короткого диффузора.

2. Неравномерность поля скоростей в выходном сечении короткого диффузора, приводящая к росту локальных скоростей и ухудшению очистных свойств адсорбционных и каталитических наполнителей газовых фильтров.

Одним из наиболее известных способов улучшения работы короткого диффузора, с точки зрения названных критериев, является установка в его проточной части направляющих. В работе [3] предложена установка концентрических направляющих, радиальные размеры которых на входе в короткий диффузор определяются с учетом профиля поля скоростей в воздуховоде перед диффузором. В результате в выходном сечении диффузора отсутствуют ярко выраженные локальные скорости газового потока, а также уменьшаются вихреобразования.

Однако данное решение положительно зарекомендовало себя в условиях, когда фильтру предшествовал достаточно длинный для успокоения потока прямолинейный участок воздуховода, и профиль поля скоростей перед коротким диффузором имел симметричную форму. Однако установка газовых фильтров зачастую происходит вблизи местных сопротивлений (отводы, тройники, задвижки и т. п.), что особенно актуально для мобильных и транспортных объектов с ограниченным пространством, где имеется достаточно плотная компоновка. Местные сопротивления становятся источниками вихреобразований в потоке, что приводит к возникновению асимметричного профиля поля скоростей перед газовым фильтром. Соответственно, возникает резонный вопрос о работоспособности таких направляющих при наличии завихренного потока.

Анализ литературных источников и патентный обзор позволили сделать заключение об отсутствии каких-либо рекомендаций по улучшению работы газовых фильтров с коротким диффузором в завихренном потоке. Известны рекомендации по улучшению работы местных сопротивлений (установка направляющих в повороте, успокоителей потока после сопротивлений), однако при этом сами улучшения становятся источником роста аэродинамического сопротивления и шума, а также имеют ограниченное применение и не носят универсальный характер. В то же время известные рекомендации по улучшению работы коротких диффузоров [4–8] не рассчитаны на завихренный поток. Таким образом, поддержание эффективной работы газовых фильтров с коротким диффузором в условиях завихренного потока является актуальным.

Постановка задачи

Для оценки повышения эффективности работы газовых фильтров с коротким диффузором в условиях завихренного потока были проведены численные и экспериментальные исследования. При этом в качестве местного сопротивления был рассмотрен Т-образный тройник. Задачей численных исследований являлось определение профиля поля скоростей потока перед входом в короткий диффузор после тройника с целью получения данных для последующего расчета геометрии концентрических направляющих в проточной части короткого диффузора. Задачей экспериментальных исследований являлась оценка работоспособности предложенной геометрии направляющих применительно к рассматриваемому местному сопротивлению и подтверждение результатов численных расчетов.

Теория

Численные исследования были выполнены на базе пакета ANSYS CFX с использованием разработанной для газовых фильтров с коротким диффузором методики численного расчета [9].

При выполнении численных расчетов в качестве объекта исследования рассматривалась проточная часть фильтра с коротким диффузором, которому предшествовал воздуховод с тройником (рис. 1). Поток движется по воздуховоду 1 диаметром 112 мм, из которого он попадает в проточную часть газового фильтра, состоящего из короткого диффузора 2, корпуса 3 и эквивалентной перегородки 4, имитирующей фильтрующий элемент. Поток покидает проточную часть фильтра через выходной воздуховод 6 длиной 100 мм. Корпус имеет прямоугольную форму с сечением 320×320 мм, диффузор длиной 68 мм — коническую, с наибольшим диаметром 280 мм. При проведении численных исследований фильтрующий элемент моделируется эквивалентной по сопротивлению перегородкой в виде перфорированной пластины толщиной 10 мм с круглыми отверстиями диаметром 10 мм, распределенными по пластине равномерно. Эквивалентная перегородка установлена поперечно в корпусе на расстоянии 50 мм от выходного сечения короткого диффузора и на расстоянии 340 мм от выходного воздуховода. На входе в воздуховод задается средняя скорость потока V_{cp} в диапазоне от 1 до 5 м/с, а на выходе после фильтра — давление, равное атмосферному ($P = P_{атм} = 100000$ Па). Профиль поля скоростей воздушного потока рассматривается

во входном (0-0) и выходном (1-1) сечении короткого диффузора. Аэродинамическое сопротивление рассматривается на всем газовом фильтре в целом.

Для расчета конструктивных параметров концентрических направляющих, устанавливаемых в проточную часть короткого диффузора, был выполнен литературный и патентный анализ существующих методик инженерного расчета коротких диффузоров. На сегодняшний день известен ряд методик инженерного расчета коротких диффузоров как с направляющими, так и без них. Большая часть таких методик связана с расчетом диффузоров турбокомпрессоров, в проточной части которых направляющие, как правило, отсутствуют. Эти методики достаточно сложны и, в основном, опираются на результаты экспериментальных исследований, что практически исключает их использование в других областях техники. Из рекомендаций по расчету проточной части коротких диффузоров общего назначения с направляющими известны работы [10, с. 282; 11]. Представленные в них методики достаточно просты, но имеют ограниченное применение, т. к. подходят только для плоских диффузоров и при условии, что профиль потока перед диффузором симметричный. Помимо этого, известен способ расчета проточной части короткого диффузора с концентри-

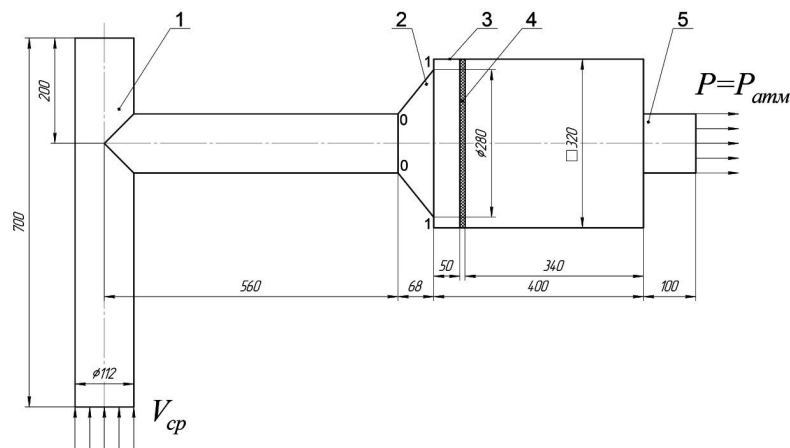


Рис. 1. Схема модели для выполнения численных расчетов:
 1 — воздуховод с тройником; 2 — короткий диффузор; 3 — корпус;
 4 — эквивалентная перегородка; 5 — выходной воздуховод
 Fig. 1. Diagram of the model for performing numerical calculations:
 1 — duct with a tee; 2 — short diffuser; 3 — housing;
 4 — equivalent partition; 5 — outlet duct

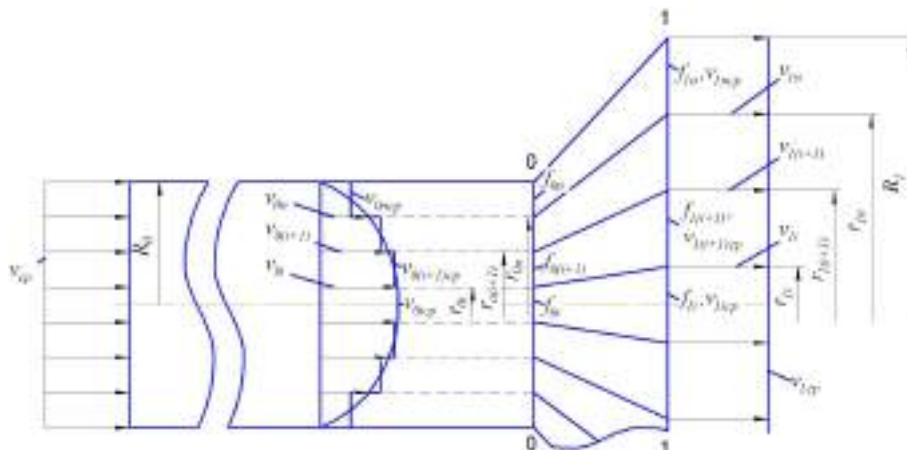


Рис. 2. Расчетная схема к инженерной методике расчета
 Fig. 2. Calculation scheme to the engineering calculation technique

ческими направляющими [12], установленного в трубопроводе с целью выравнивания потока жидкости, протекающей в нем. Однако методика имеет привязку к диаметру трубопровода, из-за чего короткий диффузор не может быть рассчитан как самостоятельный узел.

Таким образом, существующие инженерные методики расчета коротких диффузоров с направляющими имеют ограниченное применение и не могут быть использованы для расчета проточной части коротких диффузоров газовых фильтров, из чего следует вывод, что требуется разработка оригинальной методики расчета.

С целью определения конструктивных параметров направляющих в проточной части коротких диффузоров газовых фильтров была разработана инженерная методика расчета. Она позволяет определить такое радиальное расстояние между концентрическими направляющими на входе в диффузор, чтобы на выходе из него получить равномерный профиль поля скоростей по всему поперечному сечению газового потока. Расчет ведется с учётом профиля поля скоростей газового потока в круглом воздухопроводе, который, применительно к рассматриваемому объекту (рис. 2), для ламинарного режима течения соответствует уравнению [10, с. 149; 13, 14]

$$v_{0i} = 2 \cdot v_{cp} \cdot \left(1 - \left(\frac{r_{0i}}{R_0} \right)^2 \right), \quad (1)$$

а для турбулентного — эмпирическому уравнению

$$v_{0i} = v_{cp} \cdot \text{Re}^{0,002} \cdot \left(\frac{r_{0i}}{R_0} \right)^{0,1}, \quad (2)$$

где v_{0i} — текущее значение скорости потока на радиусе r_{0i} ; v_{cp} — средняя скорость потока; Re — число Рейнольдса; R_0 — внутренний радиус воздухопровода.

Расчет геометрии направляющих ведется на основе уравнения неразрывности для одномерного течения несжимаемой жидкости (рис. 2)

$$\left. \begin{aligned} f_{0i} \cdot v_{0icp} &= f_{1i} \cdot v_{1icp}; \\ f_{0(i+1)} \cdot v_{0(i+1)cp} &= f_{1(i+1)} \cdot v_{1(i+1)cp}; \\ \dots & \\ f_{0n} \cdot v_{0ncp} &= f_{1n} \cdot v_{1ncp} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где v_{0icp} — средняя скорость потока на участке, ограниченном радиусом r_{0i} , с площадью поперечного сечения f_{0i} ; $v_{0(i+1)cp}$ — средняя скорость потока на участке, ограниченном радиусами r_{0i} и $r_{0(i+1)}$, с площадью поперечного сечения $f_{0(i+1)}$; v_{0ncp} — средняя скорость потока на участке, ограниченном радиусами r_{0n} и R_0 , с площадью поперечного сечения f_{0n} , причем площади поперечного сечения и соответствующие им средние скорости на входе в диффузор могут изменяться f_{0i} , $f_{0(i+1)}$, ..., f_{0n} — var, v_{0icp} , $v_{0(i+1)cp}$, ..., v_{0ncp} — var, а площади поперечного сечения на выходе из диффузора имеют постоянное значение и не равны друг другу f_{1i} , $f_{1(i+1)}$, ..., f_{1n} — const, в то время как средние скорости на выходе из диффузора, соответствующие этим площадям, равны между собой $v_{1icp} = v_{1(i+1)cp} = \dots = v_{1ncp} = v_{1cp}$.

Предложенная методика достаточно проста в реализации и позволяет итерационным способом определить геометрию концентрических направляющих на входе в короткий диффузор. Однако при

ее разработке наибольшие сложности возникли в получении простой зависимости для построения эпюры скоростей в воздухопроводе перед диффузором для турбулентного режима течения. Анализ источников [10, с. 172; 13, 14] показал: для построения эпюры скоростей требуется решить систему дифференциальных уравнений, каждое из которых описывает определенную зону течения (пристенную, переходную, ядро потока). Введение такой системы в инженерную методику значительно усложнило бы ее практическое применение. Требуемое уравнение было получено эмпирическим путем на основе анализа эпюр скоростей, полученных экспериментально, для различных чисел Рейнольдса.

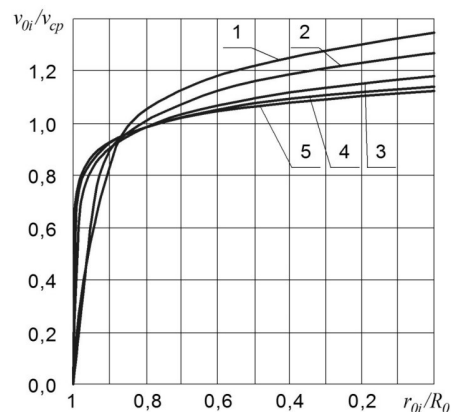


Рис. 3. Профили поля скоростей газа в турбулентном потоке, полученные экспериментальным путем [15]:

1 — $\text{Re} = 5 \cdot 10^3$; 2 — $\text{Re} = 1 \cdot 10^4$; 3 — $\text{Re} = 1 \cdot 10^5$;
4 — $\text{Re} = 1 \cdot 10^6$; 5 — $\text{Re} = 5 \cdot 10^6$

Fig. 3. Profiles of the velocity field of a gas in a turbulent flow, obtained experimentally [15]:

1 — $\text{Re} = 5 \cdot 10^3$; 2 — $\text{Re} = 1 \cdot 10^4$; 3 — $\text{Re} = 1 \cdot 10^5$;
4 — $\text{Re} = 1 \cdot 10^6$; 5 — $\text{Re} = 5 \cdot 10^6$

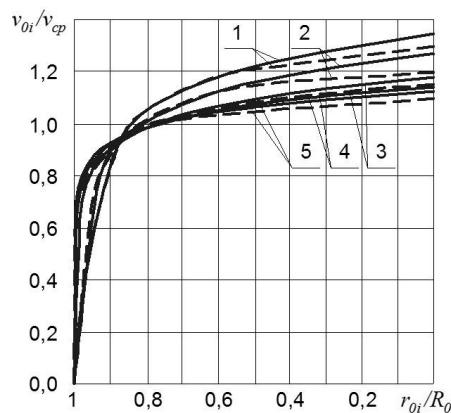


Рис. 4. Профили поля скоростей газа в турбулентном потоке, полученные расчетным путем:

1 — $\text{Re} = 5 \cdot 10^3$; 2 — $\text{Re} = 1 \cdot 10^4$; 3 — $\text{Re} = 1 \cdot 10^5$;
4 — $\text{Re} = 1 \cdot 10^6$; 5 — $\text{Re} = 5 \cdot 10^6$

Fig. 4. Profiles of the gas velocity field in a turbulent flow, obtained by calculation:

1 — $\text{Re} = 5 \cdot 10^3$; 2 — $\text{Re} = 1 \cdot 10^4$; 3 — $\text{Re} = 1 \cdot 10^5$;
4 — $\text{Re} = 1 \cdot 10^6$; 5 — $\text{Re} = 5 \cdot 10^6$

В качестве исходного было взято уравнение вида

$$v_{0i} = v_{cp} \cdot \text{Re}^n \cdot \left(\frac{r_{0i}}{R_0} \right)^k. \quad (4)$$

Таким образом, основная задача сводилась к определению коэффициентов n и k . Профили поля скоростей в зависимости от числа Рейнольдса были взяты из [15] и представлены на рис. 3.

Для подбора коэффициентов был разработан алгоритм, реализация которого позволила найти оптимальное значение этих коэффициентов, наиболее подходящее для рассматриваемых чисел Рейнольдса. В ходе подбора было получено, что $n = 0,002$ и $k = 0,1$, и конечное уравнение для построения профиля поля скоростей при турбулентном режиме течения приняло вид уравнения (2).

На рис. 4 представлены профили поля скоростей в зависимости от числа Рейнольдса, построенные по уравнению (2). На данном рисунке полученные профили наложены на экспериментальные профили поля скоростей с целью сравнения результатов.

Сравнивая полученные результаты, можно отметить их удовлетворительную сходимость, что говорит о достаточно точном подборе коэффициентов. Расхождение в результатах при этом не превысило 4,6 %. Таким образом, полученное уравнение (2) может использоваться в дальнейшем в инженерной методике расчета.

Инженерная методика расчета направляющих в проточной части коротких диффузоров газовых фильтров включает следующие этапы:

1. Задается или рассчитывается значение средней скорости потока v_{cp} на входе в воздуховод.
2. По имеющимся значениям входного R_0 и выходного R_1 радиусов короткого диффузора определяется средняя скорость потока в выходном сечении короткого диффузора v_{1cp} по соотношению:

$$v_{1cp} = \frac{v_{cp} \cdot R_0^2}{R_1^2}. \quad (5)$$

3. По уравнению (1) или (2), в зависимости от режима течения потока, строится профиль поля скоростей потока в воздуховоде перед коротким диффузором.

4. Задаются радиусы концентрических направляющих на входе и выходе короткого диффузора r_{0i}' , $r_{0(i+1)}'$, ..., r_{0n} и r_{1i}' , $r_{1(i+1)}'$, ..., r_{1n} . Предварительно можно задать одинаковый радиальный зазор между ними.

5. Определяются площади соответствующих сечений на входе f_{0i}' , $f_{0(i+1)}'$, ..., f_{0n} и выходе f_{1i}' , $f_{1(i+1)}'$, ..., f_{1n} короткого диффузора.

6. Находятся местные средние скорости потока v_{0icp}' , $v_{0(i+1)cp}'$, ..., v_{0ncp}' , приходящиеся на соответствующие участки f_{0i}' , $f_{0(i+1)}'$, ..., f_{0n} .

7. После подстановки всех значений проверяется выполнение условия (3).

8. При невыполнении условия изменяются значения радиусов направляющих на входе в короткий диффузор r_{0i}' , $r_{0(i+1)}'$, ..., r_{0n} и применительно к входному сечению короткого диффузора повторяются пп. 5–6, затем снова проверяется выполнение условия (3).

9. Пересчет необходимо выполнять до тех пор, пока не выполнится условие (3), после чего расчет можно считать окончанным.

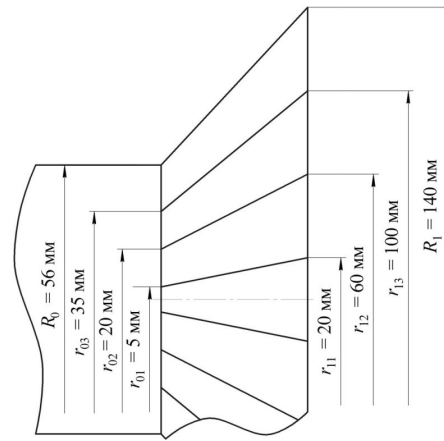


Рис. 5. Эскиз конструкции концентрических направляющих для короткого диффузора исследуемого газового фильтра
Fig. 5. Sketch of the construction of concentric guides for the short diffuser of the gas filter

Предложенная методика может применяться для расчета конструктивных параметров направляющих в проточной части коротких диффузоров при любой форме профиля течения. Для представленного исследования расчет конструкции направляющих был выполнен на основе профилей поля скоростей, построенных по результатам численных расчетов и подтвержденных экспериментальными измерениями. Эскиз конструкции концентрических направляющих для короткого диффузора с радиусом входного сечения $R_0 = 56$ мм и выходного — $R_1 = 140$ мм представлен на рис. 5.

Результаты экспериментов

Для проведения экспериментальных исследований на базе газового фильтра с коротким диффузором был разработан и сконструирован экспериментальный стенд (рис. 6) с геометрией, аналогичной численной модели.

В ходе проведения экспериментальных исследований в воздуховод 1 воздуходувкой типа Рутс (на схеме не показана) подавался воздух с заданной температурой t , давлением P и объемным расходом Q , обеспечивающим требуемое значение в диапазоне от 1 до 5 м/с. Объемный расход потока и, соответственно, его скорость V_{cp} регулировались изменением частоты вращения электродвигателя воздуходувки. Из воздуховода поток поступал в газовый фильтр, проходя поочередно через короткий диффузор 2 и корпус 3 с фильтрующим элементом 4, после чего покидал его через выходной воздуховод 5 с последующим выходом в атмосферу. Методика экспериментального исследования подразумевала определение профиля поля скоростей в воздуховоде перед коротким диффузором и в выходном сечении короткого диффузора, а также аэродинамического сопротивления на газовом фильтре. Определение профиля поля скоростей осуществлялось с помощью трубок полного давления, установленных в воздуховоде перед коротким диффузором (сечение 0-0), а также в самом фильтре за коротким диффузором (сечение 1-1). Аэродинамическое сопротивление газового фильтра определялось как разность давлений перед фильтром и после фильтра, измеренная с помощью переднего 7 и заднего 8 усредняющих устройств соответственно. Разность давлений измерялась цифровым

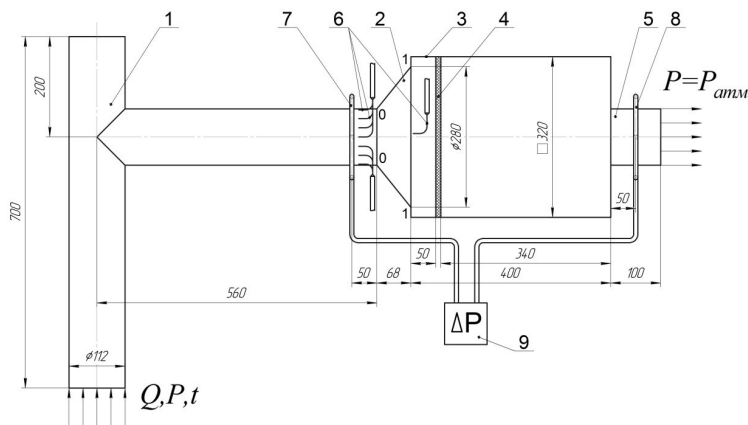


Рис. 6. Экспериментальный стенд для проведения газодинамических исследований газового фильтра с коротким диффузором:

- 1 — воздуховод с тройником; 2 — короткий диффузор; 3 — корпус;
 4 — фильтрующий элемент; 5 — выходной воздуховод;
 6 — трубки полного давления;
 7 — переднее усредняющее давление устройство;
 8 — заднее усредняющее давление устройство;
 9 — цифровой дифференциальный манометр

Fig. 6. Experimental stand for gas dynamic studies of a gas filter with a short diffuser:

- 1 — duct with a tee; 2 — short diffuser; 3 — housing; 4 — filter element;
 5 — outlet duct; 6 — full pressure pipes; 7 — front averaging device;
 8 — rear averaging device; 9 — digital differential pressure gauge

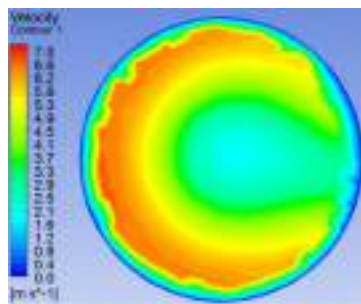


Рис. 7. Визуализация поля скоростей потока в поперечном сечении воздуховода перед коротким диффузором после тройника при средней скорости потока 3 м/с

Fig. 7. Visualization of the field of flow velocities in the cross-section of the duct before the short diffuser after the tee with an average flow velocity of 3 m/s

дифференциальным манометром 9, подключенным к усредняющим устройствам.

Обсуждение экспериментов

По результатам численных исследований было установлено, что после тройника по причине вихреобразования ядро потока смещается от центра к периферии (рис. 7), и профиль поля скоростей потока имеет выраженный несимметричный характер. Основные результаты численных расчетов представлены на рис. 7–8.

Анализ результатов численных исследований показал, что установка концентрических направляющих в проточной части короткого диффузора позволяет уменьшить неравномерность профиля поля скоростей на выходе из него и снизить аэродинамическое сопротивление фильтра в целом по сравнению с вариантом диффузора без направляющих.

Основные результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 9.

Выводы и заключение

Анализ результатов экспериментальных исследований позволил сделать следующие выводы:

1. В результате прохождения потока через тройник перед коротким диффузором наблюдается асимметричность потока относительно продольной оси воздуховода. При этом поток смещается преимущественно к стенке, противоположной боковому участку воздуховода, подводящему поток к местному сопротивлению.

2. Из-за асимметричности потока на входе в короткий диффузор профиль поля скоростей на выходе из него имеет ярко выраженную неравномерность с высокими значениями локальных скоростей относительно средней скорости потока (рис. 9).

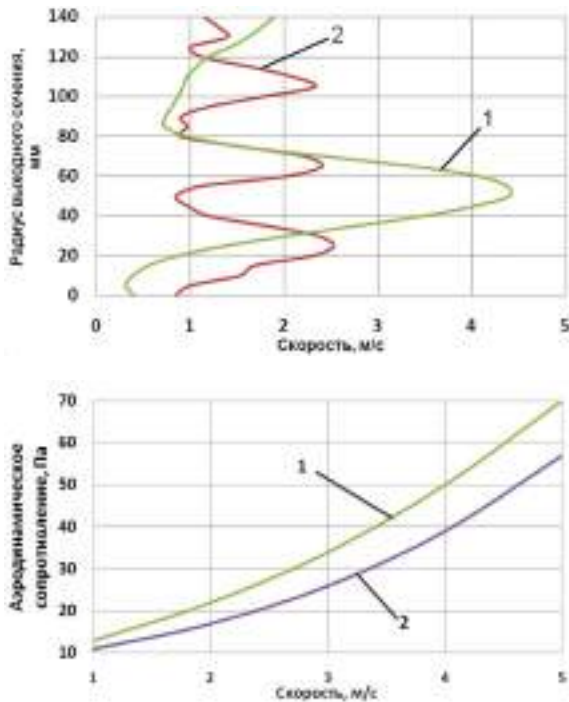


Рис. 8. Профиль поля скоростей на выходе из короткого диффузора при средней скорости потока 3 м/с (вверху) и аэродинамическое сопротивление газового фильтра с коротким диффузором (внизу) для: 1 — диффузора без направляющих; 2 — диффузора с направляющими

Fig. 8. Profile of the velocity field at the exit from the short diffuser at an average flow velocity of 3 m/s (top) and the aerodynamic resistance of the gas filter with a short diffuser (bottom) for: 1 — diffuser without guides; 2 — diffuser with guides

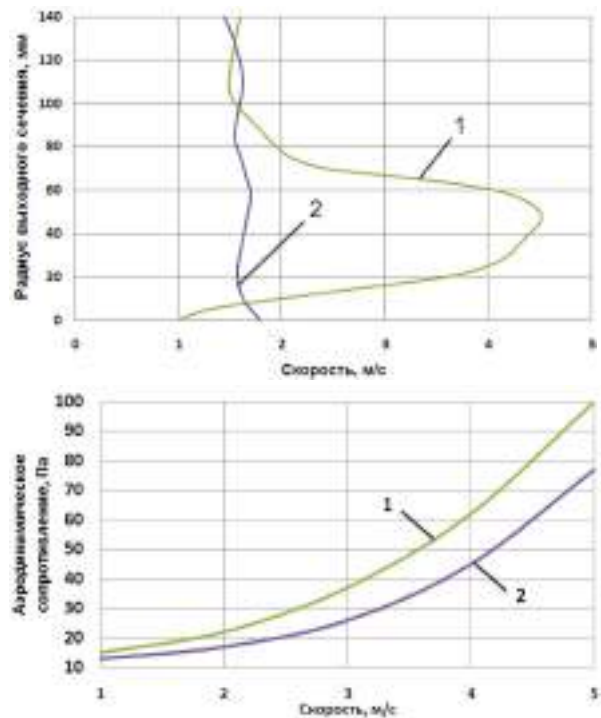


Рис. 9. Профиль поля скоростей на выходе из короткого диффузора при средней скорости потока 3 м/с (вверху) и аэродинамическое сопротивление газового фильтра с коротким диффузором (внизу) для: 1 — диффузора без направляющих; 2 — диффузора с направляющими

Fig. 9. Profile of the velocity field at the exit from the short diffuser at an average flow velocity of 3 m/s (top) and aerodynamic resistance of the gas filter with a short diffuser (bottom) for: 1 — diffuser without guides; 2 — diffuser with guides

Как показали ранее проведенные исследования, это может отрицательно отразиться на характеристиках газовых фильтров с точки зрения критериев газодинамической эффективности.

3. Установка концентрических направляющих в проточной части коротких диффузоров, геометрия которых рассчитана на основании анализа профиля поля скоростей перед диффузором с использованием результатов численных расчетов, позволяет получить достаточно равномерный профиль поля скоростей потока в выходном сечении короткого диффузора. Это доказывает эффективность направляющих при наличии асимметричного характера потока вследствие его завихрения в тройнике.

4. Значения аэродинамического сопротивления, полученные экспериментальным путем (рис. 9), несколько выше расчетных значений (рис. 8), однако общая положительная тенденция при этом сохраняется, а именно: потери давления в проточной части газового фильтра с коротким диффузором и неравномерными концентрическими направляющими значительно ниже, чем при отсутствии таковых, несмотря на несколько большие потери на трение о направляющие.

Таким образом, применение неравномерных концентрических направляющих в проточной части короткого диффузора позволяет повысить эффективность работы газовых фильтров при работе в завихренном потоке при установке после местного сопротивления в виде тройника.

Список источников

1. Filkin N. Yu. Theoretical analysis of change of gas dynamic characteristics of the dust filter with the short diffuser in operation process // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 152. P. 270–275. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.702.
2. Yusha V. L., Fil'kin N. Yu. Numerical analysis of gas dynamic efficiency of short diffusers with internal guiding blades // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2016. Vol. 52, Issue 7. P. 484–487.
3. Филькин Н. Ю., Юша В. Л. Теоретическая оценка влияния конструктивных параметров проточной части коротких диффузоров на их газодинамическую эффективность // *Вестник МАХ*. 2016. № 3. С. 68–72.
4. Mariotti A., Grozescu A. N., Buresti G., Salvetti M. V. Separation control and efficiency improvement in a 2D diffuser by means of contoured cavities // *European Journal of Mechanics — B/Fluids*. 2013. Vol. 41. P. 138–149. DOI: 10.1016/j.euromechflu.2013.03.002.
5. Sahin B., Ward-Smith A. J. The use of perforated plates to control the flow emerging from a wide-angle diffuser, with application to electrostatic precipitator design // *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 1987. Vol. 8. P. 124–131. DOI: 10.1016/0142-727X(87)90011-7.
6. Noui-Mehidi M. N., Wu J., Sutalo I. Velocity distribution in an asymmetric diffuser with perforated plates // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2005. Vol. 29, Issue 6. P. 649–657.
7. Пат. 164417 Российская Федерация, МПК F 24 F 13/062. Диффузор / Юша В. Л., Филькин Н. Ю., Райковский Н. А. № 2015133927/12; заявл. 12.08.15; опубл. 27.08.16, Бюл. № 24. 2 с.

8. Пат. 2384760 Российская Федерация, МКП F 15 D 1/00. Диффузор / Пивин И. Ф. № 2008149803/06; заявл. 18.12.08; опубл. 20.03.10, Бюл. № 8. 5 с.

9. Filkin N. Yu., Yusha V. L., Litunov S. N. Development of methods of gas flow computation in short diffusers // Procedia Engineering. 2015. Vol. 113. P. 259–263. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.332.

10. Дейч М. Е., Зарянкин А. Е. Газодинамика. М.: Энергоатомиздат, 1984. 384 с.

11. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М. О. Штейнберга. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.

12. А. с. 664101 СССР, МКИ2 G 01 P 5/00, G 01 F 1/00. Устройство для спрямления профиля скоростей потока жидкости / Фрисман М. Л., Сафонов Ю. К. (СССР). № 2521250/18-10; заявл. 05.09.77; опубл. 25.09.79, Бюл. № 19.

13. Самойлович Г. С. Газодинамика. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. 384 с. ISBN 5-217-01092-4.

14. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. 7-е изд., испр. М.: Дрофа, 2003. 846 с. ISBN 5-7107-6327-6.

15. Сугак А. В., Сугак Е. В. Расчет профиля скорости газа в турбулентном потоке // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=12756> (дата обращения: 14.03.2018).

ФИЛЬКИН Николай Юрьевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология».

SPIN-код: 2384-3430

AuthorID (РИНЦ): 684478

Адрес для переписки: finick@inbox.ru

ЮША Владимир Леонидович, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Холодильная и компрессорная техника и технология».

SPIN-код: 1503-9666

AuthorID (РИНЦ): 610283

ORCID: 0000-0001-9858-7687

Адрес для переписки: yusha@omgtu.ru

КАПЕЛЮХОВСКАЯ Александра Александровна, ассистент кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология».

Адрес для переписки: shipunovaa@mail.ru

Для цитирования

Филькин Н. Ю., Юша В. Л., Капелюховская А. А. Повышение газодинамической эффективности фильтров с коротким диффузором при работе в завихренном потоке // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2017. Т. 1, № 2. С. 72–79. DOI: 10.25206/2588-0373-2018-2-1-72-79.

Статья поступила в редакцию 15.03.2018 г.

© Н. Ю. Филькин, В. Л. Юша, А. А. Капелюховская

THE INCREASE IN GAS-DYNAMIC EFFICIENCY OF FILTERS WITH SHORT DIFFUSER WHEN OPERATING IN SWIRLING FLOW

N. Yu. Fil'kin, V. L. Yusha, A. A. Kapelyukhovskaya

Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

The article is devoted to the problem of increasing the gas dynamic efficiency of gas filters with a short diffuser when working in a swirling flow, the perturbation of which is caused by the presence of local resistance. To increase the gas dynamic efficiency, installation of a concentric guides in the flowing part of the short diffuser is suggested, as well as an engineering technique for calculating such guides. Numerical and experimental studies of the gas filter are carried out when working in a stream swirling by means of a tee, with the installation and without the installation of a concentric guides in a flowing part, comparative results of the studies are presented. Based on the results of the research, the efficiency of concentric guides in the conditions of a swirling flow is confirmed, and the gas-dynamic efficiency of the gas filter is improved in comparison with the version without the installation of guides in the flowing part of the short diffuser.

Keywords: gas filter, short diffuser, gas dynamic efficiency, swirling flow, concentric guides, velocity field profile, aerodynamic resistance.

References

1. Filkin N. Yu. Theoretical analysis of change of gas dynamic characteristics of the dust filter with the short diffuser in operation process // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 152. P. 270–275. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.702. (In Engl.).
2. Yusha V. L., Fil'kin N. Yu. Numerical analysis of gas dynamic efficiency of short diffusers with internal guiding blades // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2016. Vol. 52, Issue 7. P. 484–487. (In Engl.).
3. Fil'kin N. Yu., Yusha V. L. Teoreticheskaya otsenka vliyaniya konstruktivnykh parametrov protochnoy chasti korotkikh diffuzorov na ikh gazodinamicheskuyu effektivnost' [Theoretical estimation of the influence of design parameters of the flowing part of short diffusers on their gas dynamic efficiency] // *Vestnik MAKH. Bulletin of IAR*. 2016. No. 3. P. 68–72 (In Russ.).
4. Mariotti A., Grozescu A. N., Buresti G., Salvetti M. V. Separation control and efficiency improvement in a 2D diffuser by means of contoured cavities // *European Journal of Mechanics – B/Fluids*. 2013. Vol. 41. P. 138–149. DOI: 10.1016/j.euro-mechflu.2013.03.002. (In Engl.).
5. Sahin B., Ward-Smith A. J. The use of perforated plates to control the flow emerging from a wide-angle diffuser, with application to electrostatic precipitator design // *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 1987. Vol. 8. P. 124–131. DOI: 10.1016/0142-727X(87)90011-7. (In Engl.).
6. Noui-Mehidi M. N., Wu J., Satalo I. Velocity distribution in an asymmetric diffuser with perforated plates // *Experimental thermal and fluid science*. 2005. Vol. 29, Issue 6. P. 649–657. (In Engl.).
7. Patent 164417 RF, MPK F 24 F 13/062. Diffuzor [Diffusor]. Yusha V. L., Fil'kin N. Yu., Raikovskiy N. A. No. 2015133927/12. (In Russ.).
8. Patent 2384760 RF, MPK F 15 D 1/00. Diffuzor [Diffusor]. Pivin I. F. No. 2008149803/06. (In Russ.).
9. Filkin N. Yu., Yusha V. L., Litunov S. N. Development of methods of gas flow computation in short diffusers // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 113. P. 259–263. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.332. (In Engl.).
10. Deych M. E., Zaryankin A. Ye. *Gidrogazodinamika [Hydrogasodynamics]*. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1984. 384 p. (In Russ.).
11. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam [Handbook on hydraulic resistance]* / Ed. M. O. Shteinberg. 3rd ed. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1992. 672 p. (In Russ.).
12. Patent 664101 USSR, MKI2 G 01 P 5/00, G 01 F 1/00. *Ustroystvo dlya spryamleniya profilya skorostey potoka zhidkosti [Device for straightening the profile of fluid flow rates]*. Frisman M. L., Safonov Yu. K. No. 2521250/18-10. (In Russ.).
13. Samoilovich G. S. *Gidrogazodinamika [Hydrogasodynamics]*. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1990. 384 p. (In Russ.).
14. Loytsanskiy L. G. *Mekhanika zhidkosti i gaza [Mechanics of Fluids and Gas]*. Moscow: Drofa Publ, 2003. 846 p. (In Russ.).
15. Sugak A. V., Sugak E. V. Raschet profilya skorosti gaza v turbulentnom potoke [Calculation of the gas velocity profile in a turbulent flow] // *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. Modern Problems of Science and Education*. 2014. No. 3. URL: <http://www.science-education.ru/en/article/view?id=12756> (accessed 14/03/2018). (In Russ.).

FIL'KIN Nikolay Yur'yevich, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Refrigeration and Compressor Engineering and Technology Department. SPIN-code: 2384-3430
AuthorID (RSCI): 684478

Address for correspondence: finick@inbox.ru
YUSHA Vladimir Leonidovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Refrigeration and Compressor Engineering and Technology Department. SPIN-code: 1503-9666

AuthorID (RSCI): 610283
ORCID: 0000-0001-9858-7687
Address for correspondence: yusha@omgtu.ru
KAPELYUKHOVSKAYA Alexandra Alexandrovna, Assistant of Refrigeration and Compressor Engineering and Technology Department.

Address for correspondence: shipunovaa@mail.ru

For citations

Fil'kin N. Yu., Yusha V. L., Kapelyukhovskaya A. A. The increase in gas-dynamic efficiency of filters with short diffuser when operating in swirling flow // *Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering*. 2018. Vol. 2, no. 1. P. 72–79. DOI: 10.25206/2588-0373-2018-2-1-72-79.

Received 15 March 2018.

© N. Yu. Fil'kin, V. L. Yusha, A. A. Kapelyukhovskaya