

УДК 532.556.42:697.94

Теоретическая оценка влияния конструктивных параметров проточной части коротких диффузоров на их газодинамическую эффективность

Н. Ю. ФИЛЬКИН¹, д-р техн. наук В. Л. ЮША²¹finick@inbox.ru, ²yusha@omgtu.ruОмский государственный технический университет
644050, г. Омск, пр. Мира, 11

Представлен расчетный анализ влияния входного диаметра и длины направляющих короткого диффузора на потери давления в его проточной части, а также на равномерность профиля скоростей на выходе из короткого диффузора. Анализ выполнен с использованием методики численного расчета, разработанной на базе пакета ANSYS CFX. Расчеты производились для трех вариантов конструкции короткого диффузора с внутренними концентрическими направляющими, выполненными во всю длину диффузора, удлиненными с заходом в воздухопровод и укороченными. При этом отношение диаметров входного и выходного сечения диффузора менялось от 0,1 до 0,7, а объемный расход воздушного потока от 0,028 до 0,139 м³/с. В ходе анализа выявлено, что наименьшие потери давления достигаются при удлиненных направляющих, и величина потерь снижается с увеличением входного диаметра диффузора. Также установлено, что наиболее равномерное поле скоростей на выходе из диффузора получается при использовании удлиненных направляющих. Полученные результаты могут быть полезны при конструировании проточной части фильтров систем жизнеобеспечения.

Ключевые слова: короткий диффузор, проточная часть, потери давления, поле скоростей.

Информация о статье

Поступила в редакцию 28.12.2015, принята к печати 08.07.2016

doi: 10.21047/1606-4313-2016-15-3-68-72

Ссылка для цитирования

Филькин Н. Ю., Юша В. Л. Теоретическая оценка влияния конструктивных параметров проточной части коротких диффузоров на их газодинамическую эффективность // Вестник Международной академии холода. 2016. № 3. С. 68–72.

The influence of the design parameters for the flow part of short diffusers on their gas-dynamic efficiency

N. Yu. FILKIN¹, D. Sc. V. L. YUSHA²¹finick@inbox.ru, ²yusha@omgtu.ruOmsk State Technical University
644050, Russia, Omsk, pr. Mira 11

The influence of entrance diameter and length of guides in the short diffuser on pressure losses in its flowing part, and also on uniformity of the profile of its outlet velocities is analyzed. The analysis is made with the use of the numerical calculation developed on the basis of ANSYS CFX software. Calculations were made for three options of short diffuser design with internal concentric guides along all diffuser length extended into the air duct and shortened. At the same time diameter ratio of inflow and outflow cross section of the diffuser changed from 0.1 to 0.7, and volume rate of airflow from 0.028 to 0.139 m³/s. The analysis proved that the smallest pressure losses occur with the use of extended guides, and the losses decrease with the increase of inflow diffuser diameter. The use of extended guides also provides the most uniform velocity field at the outlet from the diffuser. The results obtained can be useful in designing the flow part for the filters of life support systems.

Keywords: short diffuser, flow part, pressure losses, velocity field.

Введение

Диффузоры находят повсеместное применение в элементах проточной части систем жизнеобеспечения для объектов различного назначения [1–4], при этом с целью обеспечения требуемых габаритных параметров могут применяться так называемые короткие диффузоры [5]. В данной статье рассматриваются короткие диффузоры

для фильтров систем жизнеобеспечения мобильных и транспортных объектов, обеспечение компактности которых при одновременном выполнении основных функциональных критериев представляется на сегодняшний день актуальной задачей.

Одним из основных требований, предъявляемых к фильтрам систем жизнеобеспечения, является мини-

мально возможное газодинамическое сопротивление, которое определяет энергозатраты на привод вентиляторов, и, соответственно, энергетическую эффективность всей системы жизнеобеспечения [7, 8]. Как показали предварительные исследования, на величину потерь давления потока воздуха, проходящего через фильтр, в том числе влияет и конструкция короткого диффузора [9, 10].

Одними из распространенных типов фильтров, применяемых на транспортных объектах, в том числе в изолированных и герметичных отсеках, являются каталитические фильтры для окисления оксида углерода и адсорбционные фильтры для очистки воздуха от различных вредных веществ. Обязательным требованием, предъявляемым к таким фильтрам, является обеспечение требуемого качества очищенного воздуха [6]. При этом известно, что на качество очистки воздуха в фильтр-кассетах влияет и газодинамический фактор, а именно величина локальной скорости воздуха в проточной части фильтрующих элементов [5]. Соответственно, для каждого конкретного типа фильтрующего элемента, состава вредных веществ в воздухе, термодинамических параметров состояния воздуха существует диапазон допустимых (рекомендуемых) скоростей воздуха в проточной части фильтрующих элементов. Очевидно, что отклонение величины локальной скорости воздуха от оптимальной приведет к ухудшению качества очистки воздуха в фильтре.

Поэтому дополнительным обязательным требованием, предъявляемым к коротким диффузорам фильтров систем жизнеобеспечения, является обеспечение допустимого (рекомендуемого) диапазона скоростей воздуха во всех точках выходного сечения диффузора. Известны попытки распределения потоков воздуха в проточной части короткого диффузора за счет установки направляющих [7, 11]. Однако в доступных источниках информации не обнаружено практически значимых рекомендаций ни по конструктивным схемам этих направляющих, ни по взаимосвязи их конструктивных параметров с основными размерами короткого диффузора.

В данной статье выполнен теоретический анализ влияния осевой протяженности внутренних направляющих и соотношения площадей входного и выходного

сечений короткого диффузора на его газодинамическую эффективность.

Объект, цель и задачи исследования

В статье рассматриваются короткие диффузоры для фильтров очистки воздуха от газообразных примесей. Предметом исследования является процесс течения воздуха через короткий диффузор. Целью исследования является определение влияния конструкции проточной части короткого диффузора, а именно — осевой длины внутренних направляющих и соотношения площадей входного и выходного сечений, на профиль поля скоростей потока воздуха на выходе из диффузора и величину потерь давления в нем.

Для сравнительного анализа были выбраны различные конструктивные схемы коротких диффузоров с равномерно расположенными (по радиусам входного и выходного сечений) концентрическими направляющими различной длины и отношением F_1/F_2 , равным 0,1, 0,2, 0,3, 0,5 и 0,7, показанные на рис. 1.

Методика расчета проточной части короткого диффузора

В основе разработанной методики расчета лежит математическая модель процесса течения воздуха через проточную часть короткого диффузора, которая включает в себя расчетную схему и основные упрощающие допущения; граничные, геометрические и физические условия однозначности; математическое описание рассматриваемого процесса.

Расчетная схема объекта исследования показана на рис. 2.

Граничные условия однозначности:

$$Q_{\text{вх}} = 0,028 \dots 0,139 \text{ м}^3/\text{с}; t_{\text{вх}} = t_{\text{вых}} = 20^\circ\text{C}; P_{\text{вх}} = \text{var}; P_{\text{вых}} = P_{\text{атм}}.$$

Геометрические условия однозначности:

$$F_1/F_2 = 0,1 \dots 0,7; F_{\text{вых}} = H \times H; B = 1,5H; l = 0,2D_2; a_1 = D_1/(2n+1); a_2 = D_2/(2n+1).$$

Физические условия однозначности: газ — воздух с газовыми примесями.

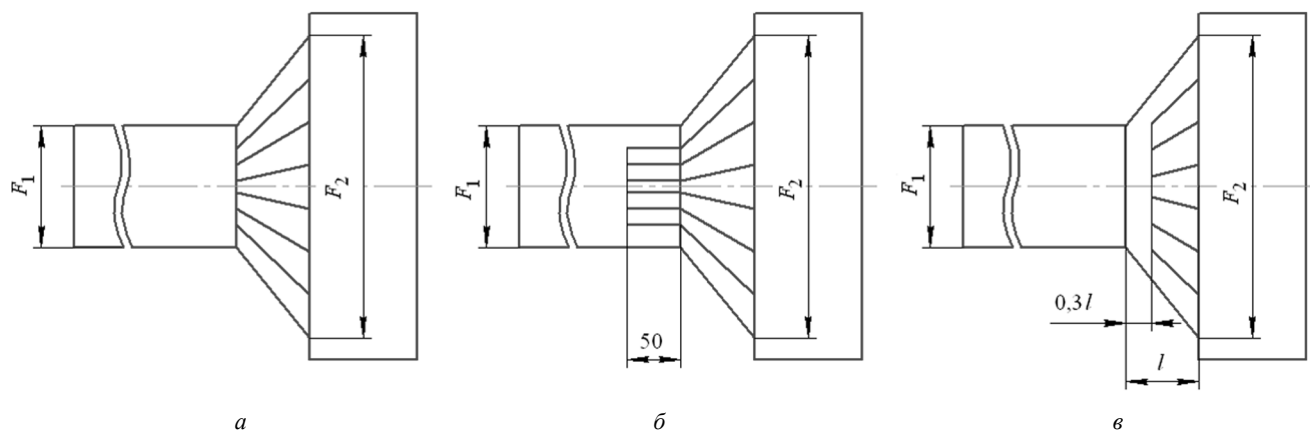


Рис. 1. Конструктивные схемы коротких диффузоров с внутренними концентрическими направляющими: а — с направляющими во всю длину диффузора; б — с удлиненными направляющими; в — с укороченными направляющими

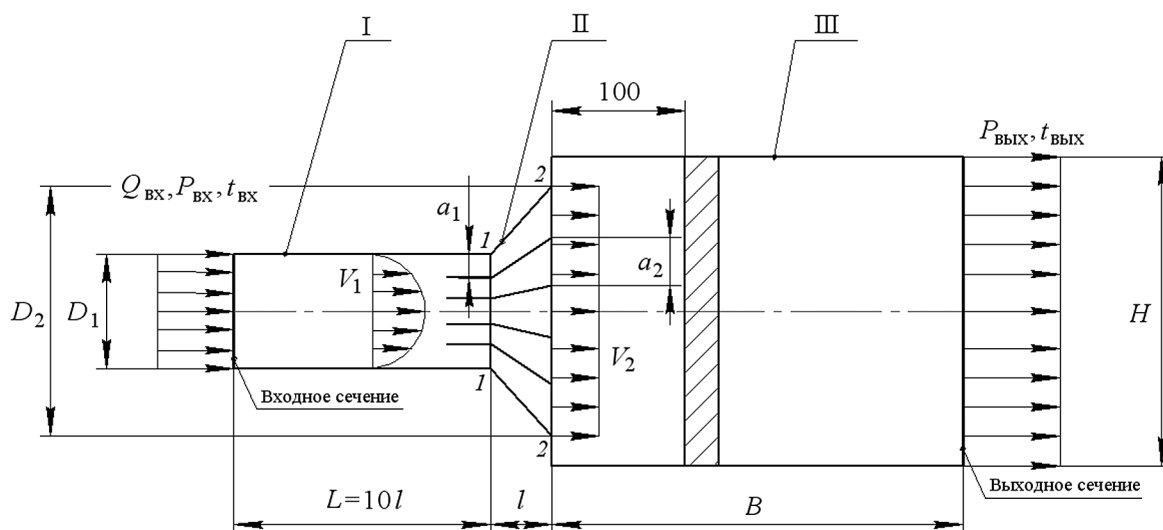


Рис. 2. Расчетная схема течения воздуха через проточную часть короткого диффузора:
I — воздуховод; II — короткий диффузор; III — проточная часть фильтра; 1-1 — входное сечение диффузора;
2-2 — выходное сечение диффузора

Основные расчетные уравнения: уравнение неразрывности; уравнение состояния; уравнение моментов; уравнение энергии [7].

Для численной реализации этой математической модели был выбран пакет ANSYS CFX, на базе которого разработана методика расчета проточной части короткого диффузора, включающая в себя следующие этапы:

1. Подготовка расчетной модели.

В этот этап входит:

- создание геометрической модели фильтра, описывающей расчетную область;
- генерация сеточной модели на основе созданной геометрии (рис. 3, а);
- задание граничных и начальных условий — препроцессинг.

2. Решение задачи в решателе.

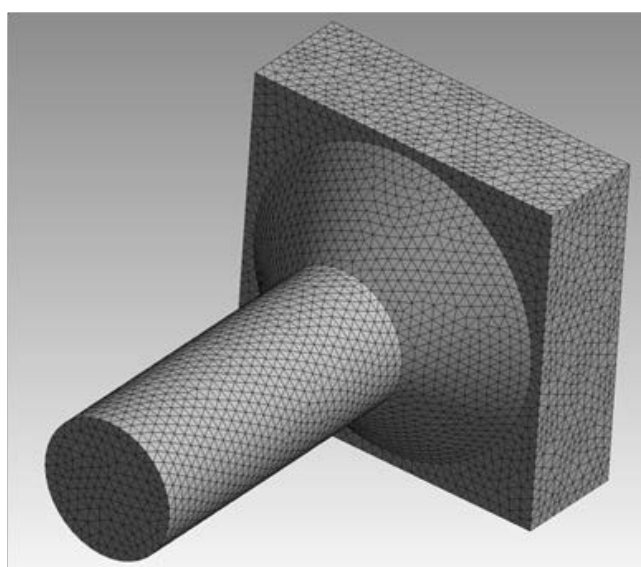
3. Просмотр результатов расчета — постпроцессинг (рис. 3, б).

Верификация разработанной методики произведена по результатам экспериментальных исследований коротких диффузоров фильтров, выполненных в лаборатории ресурсного центра «Химическое и нефтегазовое машиностроение» ОмГТУ на стенде для исследования проточной части элементов систем жизнеобеспечения.

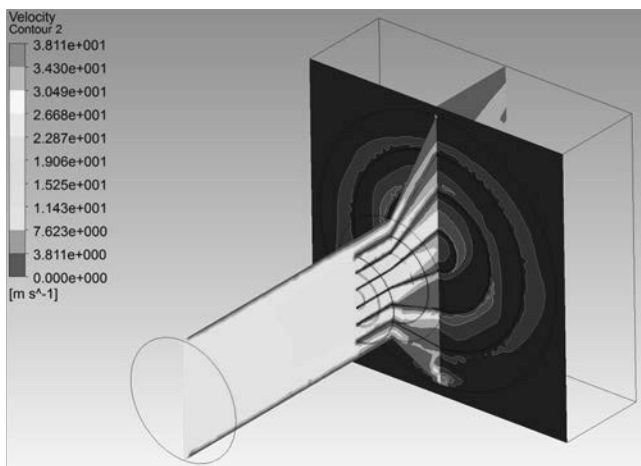
Результаты верификации показали удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных исследований (расхождение по величине потерь давления составило не более 4,8%, по величине локальных скоростей — не более 8,6%).

Результаты и обсуждение

Основные результаты выполненных расчетов показаны на рис. 4, 5. Как видно из графика на рис. 4, наибольшие потери давления достигаются при соотношении $F_1/F_2 = 0,1$, что объясняется значительным ростом скорости потока в воздуховоде перед диффузором. Дальнейшее увеличение соотношения F_1/F_2 приводит к сни-



а



б

Рис. 3. Этапы расчета в ANSYS CFX: а — генерация сеточной модели; б — просмотр результатов расчета

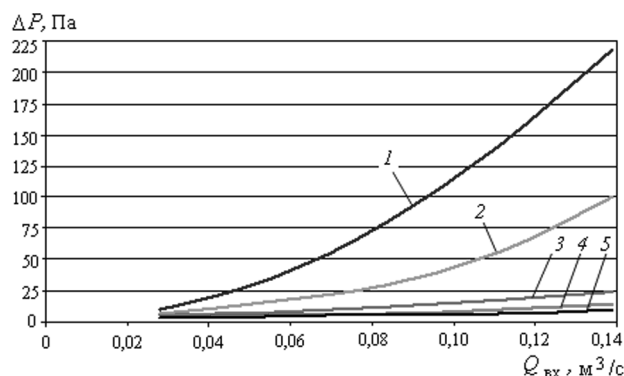
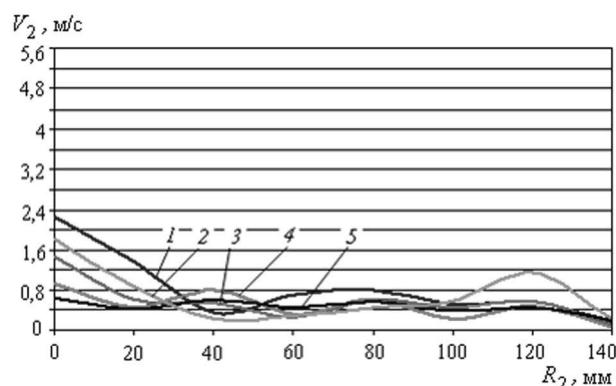
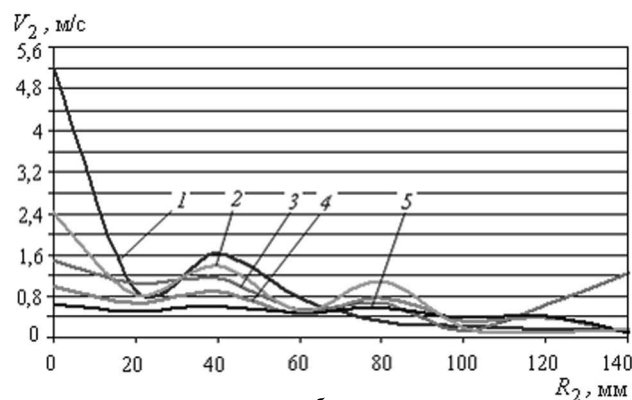


Рис. 4. Потери давления в проточной части коротких диффузоров с удлиненными направляющими:
1 — $F_1/F_2 = 0,1$; 2 — $F_1/F_2 = 0,2$; 3 — $F_1/F_2 = 0,3$;
4 — $F_1/F_2 = 0,5$; 5 — $F_1/F_2 = 0,7$

жению потерь давления на порядок. При этом потери давления для различных вариантов длины направляющих при соотношениях $F_1/F_2 = 0,1$ и $F_1/F_2 = 0,3$ отличается не более чем на 5%, а для остальных вариантов соотношения F_1/F_2 потери давления практически идентичны, хотя для варианта с удлиненными направляющими они несколько ниже.



а



б

Из результатов расчета (см. рис. 5) видно, что при близких значениях площадей входного и выходного сечений диффузора конструкция направляющих не имеет существенного значения, так как в этих случаях разброс величины скорости потока воздуха по радиусу выходного сечения короткого диффузора невелик (кривые 4 и 5). Однако, при существенно малом сечении подводящего воздуховода (кривые 1, 2, 3), влияние конструкции внутренних направляющих становится заметным. Видно, что при укороченных направляющих имеет место большой разброс величины локальной скорости воздуха, что с большой вероятностью не укладывается в рекомендуемый диапазон. Применение удлиненных направляющих обеспечивает наиболее равномерное поле скоростей воздуха в выходном сечении короткого диффузора (рис. 5, в).

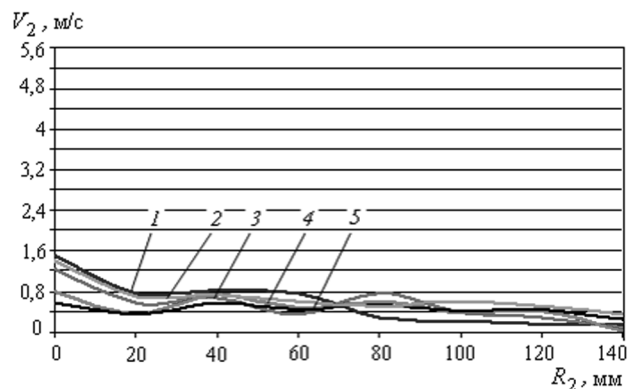
Выводы

Таким образом, по результатам анализа научно-технической литературы и расчетно-теоретического исследования течения воздуха в проточной части коротких диффузоров, можно сделать следующие выводы:

- применительно к фильтрам очистки воздуха систем жизнеобеспечения в качестве критериев газодинамической эффективности короткого диффузора следует рассматривать не только допустимую величину потерь давления потока воздуха, но и равномерность поля скоростей потока воздуха на выходе из диффузора;

- применение в коротких диффузорах концентрических удлиненных направляющих позволяет при малых осевых размерах диффузора обеспечить на входе в фильтрующие элементы равномерное поле скоростей потока воздуха в широком диапазоне соотношений площадей входного и выходного сечений диффузора, что необходимо для качественной очистки воздуха.

Дальнейшее совершенствование короткого диффузора может быть связано с оптимизацией конструктивных параметров внутренних направляющих с учетом профиля поля скоростей потока на входе в диффузор.



в

Рис. 5. Профили поля скоростей в выходном сечении коротких диффузоров:

а — с направляющими во всю длину диффузора; б — с укороченными направляющими; в — с удлиненными направляющими;
1 — $F_1/F_2 = 0,1$; 2 — $F_1/F_2 = 0,2$; 3 — $F_1/F_2 = 0,3$; 4 — $F_1/F_2 = 0,5$; 5 — $F_1/F_2 = 0,7$

Условные обозначения:

$Q_{\text{вх}}$ — объемный расход потока во входном сечении, м³/с;
 F_1, F_2 — площадь входного и выходного сечения диффузора соответственно, м²;
 R_1, R_2 — радиус входного и выходного сечения диффузора соответственно, м;
 $t_{\text{вх}}, t_{\text{вых}}$ — температура потока во входном и выходном сечении соответственно, °С;
 $P_{\text{вх}}, P_{\text{вых}}$ — давление потока во входном и выходном сечении соответственно, Па;
 $P_{\text{атм}}$ — атмосферное давление, Па;
 $F_{\text{вых}}$ — площадь выходного сечения, м²;
 H — высота выходного сечения, м;
 B — длина проточной части фильтра, м;
 l — длина короткого диффузора, м;
 D_1, D_2 — диаметр входного и выходного сечения диффузора соответственно, м;
 a_1, a_2 — расстояние между направляющими во входном и выходном сечении диффузора соответственно, м;
 n — число концентрических направляющих, шт.;
 ΔP — потери давления в проточной части фильтра, Па;
 V_2 — скорость потока в выходном сечении диффузора, м/с.

Литература

1. Агурин А. П. Передвижные компрессорные станции. — М.: Высшая школа, 1989. 184 с.
2. Январев И. А. и др. Теплообменное оборудование и системы охлаждения компрессорных, холодильных и технологических установок: учеб. пособие для вузов. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. 392 с.
3. Зеликовский И. Х., Каплан Л. Г. Малые холодильные машины и установки: справочник. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Агропромиздат, 1989. 672 с.
4. Стефанов Е. В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. — СПб.: АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД, 2005. 400 с.
5. Идельчик И. Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов (Подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов). — М.: Машиностроение, 1983. 351 с.
6. Чупалов В. С. Воздушные фильтры: монография. — СПб.: СПГУТД, 2005. — 167 с.
7. Дейч М. Е., Зарянкин А. Е. Газодинамика: учеб. пособие для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1984. 384 с.
8. Hazim, B. Awbi. Ventilation Systems. NY.: Taylor & Francis, 2007. 459 pp.
9. Филькин Н. Ю. и др. Теоретическая оценка влияния соотношения между осевыми размерами элементов проточной части короткого диффузора на его газодинамическую эффективность // Омский научный вестник. 2015. № 3 (143). С. 201–205.
10. Юша В. Л., Филькин Н. Ю. Анализ эффективности применения коротких диффузоров в проточной части элементов систем жизнеобеспечения. // VII Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». Ч. I: Материалы конференции. — СПб.: Университет ИТМО, 2015. С. 352–355.
11. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М. О. Штейнберга. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1992. 672 с.

References

1. Agurin A. P. Portable compressor stations. — Moscow: Vysshaya shkola, 1989. 184 p. (in Russian)
2. Yanvarev I. A. i dr. Heatexchange equipment and cooling systems of compressor, refrigeration and technological units: education guidance. Omsk: OmGTU, 2005. 392 p. (in Russian)
3. Zelikovskii I. Kh., Kaplan L. G. Small refrigerators and installations: reference book. 3-e izd., pererab. i dop. Moscow: Agropromizdat, 1989. 672 p. (in Russian)
4. Stefanov E. V. Ventilation and air conditioning. SPb.: AVOK SEVERO-ZAPAD, 2005. 400 p. (in Russian)
5. Idel'chik I. E. Aero hydrodynamics of technological devices (A supply, branch and distribution of a stream on the section of devices). Moscow: Mashinostroenie, 1983. 351 p. (in Russian)
6. Chupalov V. S. Air filters: monograph. SPb.: SPGUTD, 2005. 167 p. (in Russian)
7. Deich M. E., Zaryankin A. E. Hydraulic gas dynamics: education guidance. Moscow: Energoatomizdat, 1984. 384 p. (in Russian)
8. Hazim, B. Awbi. Ventilation Systems. NY.: Taylor & Francis, 2007. 459 pp.
9. Fil'kin N. Yu., ets. Theoretical impact assessment of a ratio between the axial sizes of elements of flowing part of the short diffuser on its gasdynamic efficiency. Omskii nauchnyi vestnik. 2015. No 3 (143). p. 201–205. (in Russian)
10. Yusha V. L., Fil'kin N. Yu. Efficiency analysis of use of short diffusers in flowing part of elements of life support systems. VII International scientific and technical conference «Low-temperature and Food Technologies in the 21st Century». P. I: Conference materials. SPb.: Universitet ITMO, 2015. p. 352–355. (in Russian)
11. The reference book on hydraulic resistance / under the editorship of. M. O. Shteinberga. — M.: Mashinostroenie, 1992. 672 p. (in Russian)