

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФРОНТАЛЬНОГО ТУРБУЛИЗАТОРА НА ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ДИФфуЗОРА

Бобков А. В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» Комсомольск-на-Амуре, Россия (681013, Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина, д. 27) e-mail: bobkov@knastu.ru

Экспериментальным путём определено гидравлическое сопротивление проточного тракта, состоящего из стационарного, т.н. «отрывного» диффузора, на выходе которого устанавливался фронтальный турбулизатор (ФТ), выполненный из сетки. Объектами исследования стали 3 диффузора, угол раскрытия ϕ которых составил 30°, 60° и 90° и 2 варианта ФТ: сетка 014 и сетка 045 (обозначения по ГОСТу) с коэффициентами живого сечения, соответственно, 0,37 и 0,479. Целью исследования стала оценка энергетического баланса между двумя процессами: уменьшения гидравлического сопротивления диффузора за счёт выравнивающего воздействия на поток ФТ и увеличения гидравлического сопротивления тракта за счёт сопротивления ФТ. Результаты исследования показали, что установка ФТ позволяет снизить величину гидравлического сопротивления проточного тракта за счёт выравнивания поля скоростей в выходной части «отрывного» диффузора.

Ключевые слова: диффузор, фронтальный турбулизатор, сетка, гидравлическое сопротивление, поле скоростей.

ASSESSMENT OF FRONT TURBULATORS ON HYDRAULIC RESISTANCE DIFFUSER

Bobkov A. V.

State educational institutional of higher professional educational "Komsomolsk-na-Amure state technical university" Komsomolsk-on-Amur, Russia (681013, Komsomolsk-on-Amur, Lenin Str., 27) e-mail: bobkov@knastu.ru

Experimentally determined by the hydraulic resistance of flow path consisting of a stationary, the so-called "Separation" of the diffuser at the outlet of which was mounted turbulator Front (TF) in a grid. The objects of the study were three cone opening angle ϕ which was 30°, 60° and 90° and 2 variants TF: mesh 014 and mesh 045 (refer to GOST) with coefficients of living section, respectively 0.37 and 0.479. The aim of the study was to assess the energy balance between two processes: reduction of hydraulic resistance of the diffuser due to the leveling effect on the flow and increasing the FT tract hydraulic resistance due to the resistance of TF. The results showed that the installation of TF reduces the magnitude of the hydraulic resistance of a flow path through the alignment of the velocity field in the output of the "separation" of the diffuser.

Keywords: cone, front turbulator, grid, flow resistance, the velocity field.

Принудительная турбулизация потока в каналах турбомашин позволяет улучшить их эксплуатационные показатели, относящиеся, например, к напору, КПД или акустическим характеристикам [1, 2]. С целью турбулизации в каналах формируют выступы (канавки) или устанавливают турбулизаторы в виде стержней, перфорированных перегородок, сеток, пружин и гибких нитей.

По степени локальности воздействия на поток турбулизаторы можно разделить на три основных типа:

- локальные турбулизаторы, изменяющие характер течения в слоях, прилегающих к стенке канала. Они эффективны для полноразмерных каналов, течение в которых характеризуется наличием пограничных слоёв с толщиной до нескольких сантиметров;
- фронтальные турбулизаторы (ФТ), перекрывающие поперечное сечение канала. В качестве ФТ применяют перфорированные перегородки и сетки;

- пространственные турбулизаторы (ПТ), обеспечивающие энергообмен по всему объёму канала. В качестве ПТ применяют, например, пружины или гибкие нити [3].

Фронтальные турбулизаторы отличаются от пространственных конструктивной простотой при сохранении энергетической эффективности воздействия на поток. В таблице 1 приведены экспериментальные данные [4] по искусственной турбулизации потока с помощью ФТ, изготовленных из сеток. Установка ФТ на пути потока увеличила интенсивность турбулентности в его ядре в три раза, с 0.3 % до 0.9 %.

Достоинством ФТ является двумерность конструкции. Это особенно важно для малоразмерных турбомашин, например, центробежных насосов авиакосмического назначения [5], малые абсолютные размеры рабочих органов которых не позволяют размещать в них пространственные турбулизаторы.

С помощью ФТ в диффузорных каналах (стационарных или вращающихся) можно сформировать более оптимальную структуру потока: увеличить или уменьшить неравномерность распределения (градиент) давления или скоростей потока. Например, рис. 1, построенный по данным [6], иллюстрирует возможность уменьшения зоны отрыва в стационарном диффузоре, имеющим большой угол раскрытия ϕ . Положительное влияние

Таблица 1

Повышение турбулентности потока с помощью ФТ в виде сетки

№	Метод образования профиля скорости в канале	V_1 при $Re=430\,000$	Интенсивность турбулентности на оси, %
1.	Без сетки	0,012	0,3
2.	Сетка с постоянным коэффициентом живого сечения \bar{f}	0,028	0,9
3.	Сетка с переменным по площади коэффициентом живого сечения \bar{f}	0,059	0,9
4.	Сетка с переменным коэффициентом живого сечения \bar{f}	0,103	0,9
5.	Сетка с переменным коэффициентом живого сечения \bar{f}	0,164	0,8
6.	Сетка с переменным коэффициентом живого сечения \bar{f}	0,244	0,7

Здесь $V_1=2\delta^*/R$, где R - радиус поперечного сечения канала, $\bar{f} = \frac{\sum f_{отв}}{f_{ФТ}}$ – коэффициент живого сечения ФТ, где $f_{отв}$ – площадь одного отверстия, приходящегося на единицу площади ФТ; $f_{ФТ}$ – площадь поверхности ФТ

фронтального турбулизатора обусловлено механизмом "заполняющего" влияния ФТ на поле скоростей потока благодаря гидравлическому сопротивлению, создаваемому турбулизатором.

Локализация отрыва под действием ФТ приводит к уменьшению гидравлических потерь в диффузоре. Одновременно ФТ порождает дополнительные потери, обусловленные его собственным гидравлическим сопротивлением. Возникает вопрос: каков энергетический баланс между снижением потерь на отрыв и параллельным увеличением потерь от сопротивления ФТ, установленного на выходе диффузора. Для оценки энергетической результирующей был проведён цикл экспериментов по измерению гидравлического сопротивления проточного тракта, состоящего из стационарного диффузора и ФТ, установленного на его выходе.

В качестве объектов испытаний были использованы заведомо "отрывные" диффузоры, угол раскрытия которых отвечал требованию $\varphi \geq 15^\circ$. Исходная неравномерность потока изменялась путём увеличения угла φ .

Геометрические параметры использованных диффузоров приведены в таблице 2, а фронтальных турбулизаторов в таблице 3. ФТ изготавливались из сеток 014 и 045 (обозначения по ГОСТу).

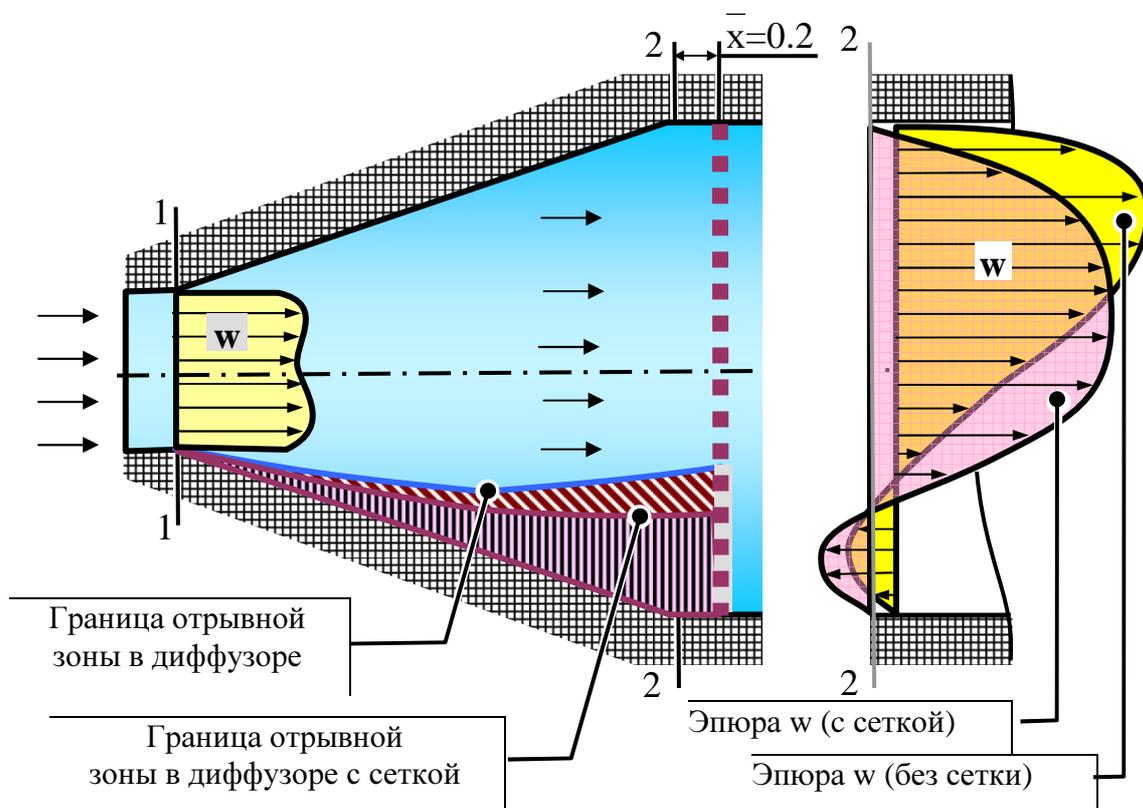


Рис. 1. Влияние сетки на течение в диффузоре

Энергетические последствия установки ФТ оценивались путём сравнения коэффициентов сопротивления диффузоров $\xi_{\text{диф}}$ без ФТ и с ФТ на выходе.

Значения коэффициентов сопротивления диффузора рассчитывались по формуле (1).

Таблица 2

Геометрические параметры прямолинейных диффузоров

№	Угол раскрытия φ , град	Диаметр горла $d_{\text{горл}}$, мм	Относительная длина диффузора $L_{\text{диф}}/d_{\text{горл}}$
1	30	2.8	8.8
2	60	3.03	3.7
3	90	3.04	2.1

$$\xi_{\text{диф}} = \frac{2\Delta p}{\rho W_1^2}. \quad (1)$$

Результаты экспериментов представлены на рис. 2 в виде графических зависимостей $\xi_{\text{диф}} = f(\text{Re})$.

Установка ФТ не повлияла на гидравлическое сопротивление диффузоров с углами раскрытия $\varphi=60^\circ$ и $\varphi=90^\circ$. Рост потерь энергии за счёт сопротивления ФТ, обладающих коэффициентом сопротивления $\xi_{\text{ФТ}}=0.4\dots 0.6$, в диффузорах с $\varphi=60^\circ$ и $\varphi=90^\circ$ был полностью компенсирован снижением потерь на отрыв. Причём сетки 014 и 045 имели существенно разный коэффициент живого сечения, соответственно, $\bar{f} = 0.37$ и $\bar{f} = 0.479$, а, следовательно, и коэффициенты сопротивления. Однако на одинаковых по числу Рейнольдса режимах они обеспечили схожий энергетический результат – неизменность $\xi_{\text{диф}}$ после

Таблица 3

Геометрические параметры ФТ из сеток

Сетки, плетённые с квадратными ячейками				
№	Обозначение	Размер ячейки на просвет $\sigma_{\text{я}}$, мм	Диаметр проволоки плетения $d_{\text{пр}}$, мм	Коэффициент живого сечения \bar{f}
1	014	0.14	0.09	0.37
2	045	0.45	0.2	0.479

установки ФТ.

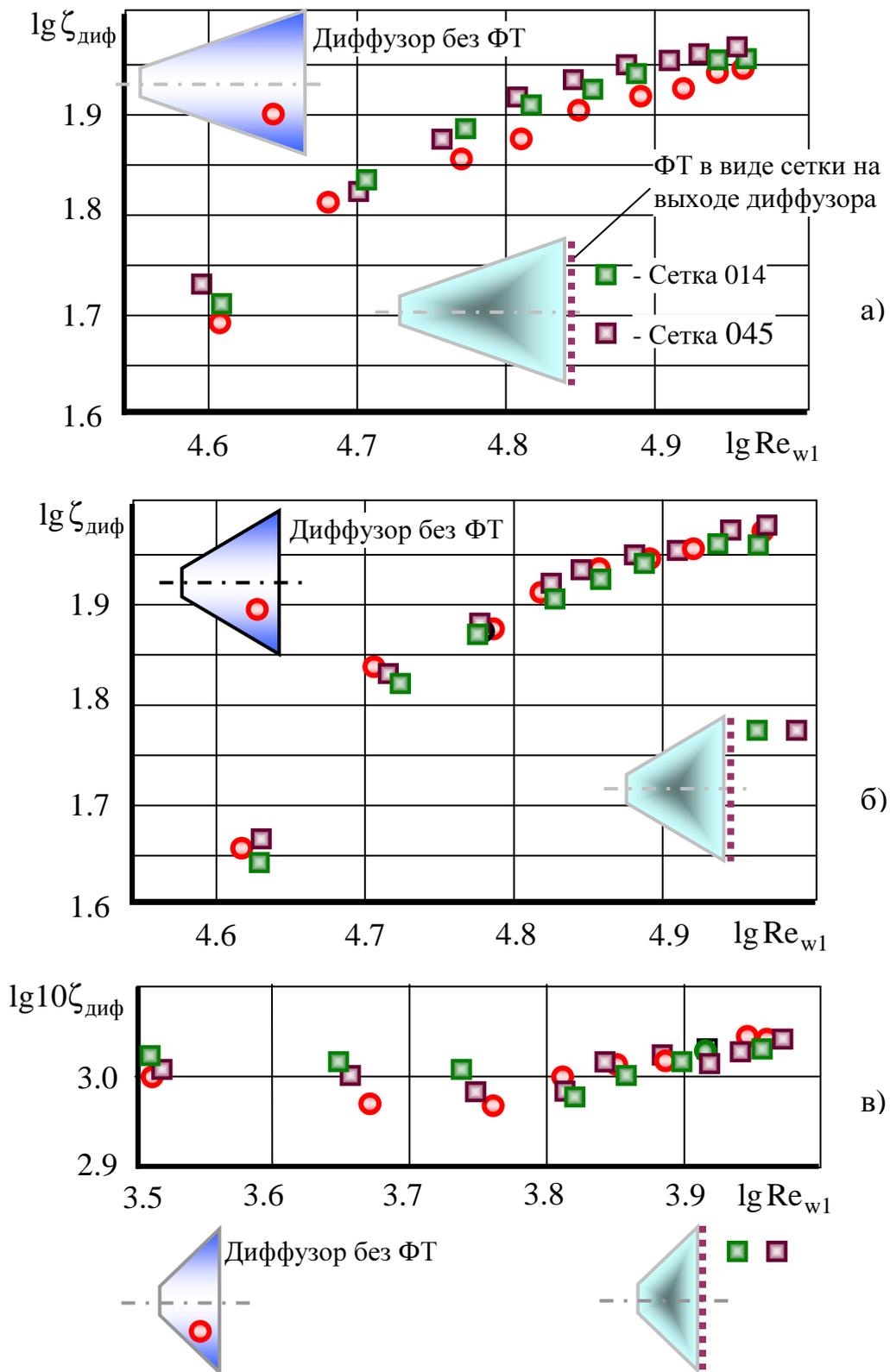


Рис. 2. Влияние ФТ на гидравлическое сопротивление диффузоров, углы раскрытия которых составляли: а) $\varphi=30^\circ$; б) $\varphi=60^\circ$; в) $\varphi=90^\circ$

В диффузоре с углом раскрытия $\varphi=30^\circ$ установка ФТ привела к незначительному увеличению гидравлического сопротивления. Рост $\xi_{\text{диф}}$ здесь объясняется пониженным исходным уровнем потерь на отрыв (на диффузорные потери) за счёт повышения

относительной длины $L_{\text{диф}}/d_{\text{горл}}$, достигнутого путём уменьшения угла раскрытия до $\varphi = 30^\circ$. В балансе потерь такого диффузора увеличен удельный вес потерь на трение, механизм существования которых не меняется при установке ФТ. Расчётная оценка потерь мощности $N_{\text{ФТ}}$ от размещения ФТ на выходе диффузора с $\varphi = 30^\circ$ указывает на интервал значений $N_{\text{ФТ}}=(0.1\dots 0.5)$ Вт.

Полученные результаты указывают на целесообразность установки ФТ в "отрывных" диффузорах. Их применение не будет сопровождаться дополнительными затратами мощности на преодоление сопротивления ФТ. Последний фактор особенно важен для вращающихся решёток профилей, входящих в состав турбомашин. Эффективность работы последних оценивается с помощью гидравлического коэффициента полезного действия. Неизменность гидравлического сопротивления проточного тракта после установки в него ФТ позволяет прогнозировать сохранение гидравлического КПД турбомашин на прежнем уровне.

Список литературы

1. Хорошев Г. А., Петров Ю. И., Егоров Н. Ф. Борьба с шумом вентиляторов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 144 с.
2. Терещенко Ю. М. Аэродинамика компрессорных решёток. – М.: Машиностроение, 1979. – 118 с.
3. Бобков А. В. Центробежные насосы систем терморегулирования космических аппаратов. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – 217 с.
4. Сейбен, Кроутил, Седрик. Течения в конических диффузорах с натурными параметрами и при моделировании условий на входе с помощью сеток // Ракетная техника и космонавтика. – 1976. – Том 14, № 12. – С. 71-80.
5. Бобков А. В., Каталажнова И. Н. Сравнительный анализ методик расчёта центробежных насосов в приложении к малоразмерным конструкциям авиакосмического назначения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т 12 (33), № 1 (2). – С. 307-309.
6. Идельчик И. Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов. (Подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов.) – М.: Машиностроение, 1983. – 351 с.

Рецензенты:

Евстигнеев А. И., д.т.н., профессор, проректор по НР, ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», г. Комсомольск-на-Амуре.

Феоктистов С. И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология самолётостроения»
ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»,
г. Комсомольск-на-Амуре.