

УДК 629.735.03

К. В. ДОРОШЕНКО, Ю. Ю. ТЕРЕЩЕНКО, П. В. ГУМЕНЮК, П. ГАМЗЕГ

Національний авіаційний університет, Київ

ВПЛИВ ФОРМИ ШТУЧНОЇ ШОРСТКОСТІ НА ТЕЧІЮ В ДИФУЗОРНОМУ КАНАЛІ

У статті проаналізовано вплив форми елементів штучної шорсткості на течію в дифузорному каналі. Розрахунки проводились для чисел Маха в діапазоні 0.2...0.5. Показано, що застосування елементів штучної шорсткості сприяє зменшенню рівня втрат повного тиску в дифузорному каналі.

Ключові слова: штучна шорсткість, дифузорний канал, моделювання течії, сили тертя.

Вступ. При течії реального газу в дифузорному каналі між окремими шарами в потоці газу, а також між газом і поверхнею обтічного тіла діють нормальні і дотичні сили. Наявність дотичних сил (сил тертя) в реальних газах обумовлена в'язкістю газів. В ідеальному газі дотичні сили відсутні, і тому на поверхні зіткнення твердого тіла з газом в загальному випадку відсутня різниця дотичних швидкостей, тобто відбувається ковзання потоку газу вздовж стінки. В реальному газі на обтічну тверду стінку передаються дотичні сили, і це призводить до того, що частинки газу прилипають до стінки.

Явище прилипання значно змінює картину ліній току, тому що воно викликає гальмування прилеглого до стінок тонкого шару газу – пограничного шару, де швидкість потоку на стінці дорівнює нулю.

При обтіканні товщина пограничного шару поступово збільшується по мірі віддалення від вхідного перерізу. Газ, загальмований в пограничному шарі, прилягає до всієї обтічної поверхні у вигляді тонкого шару не у всіх випадках. За певних умов (наприклад, в градієнтних каналах) товщина пограничного шару сильно збільшується вниз за течією і при цьому в ньому виникає обернена течія. Це викликає винесення газу, загальмованого в пограничному шарі, в зовнішню течію. Внаслідок чого пограничний шар відтісняється від поверхні і має місце відрив пограничного шару. Відрив пограничного шару завжди пов'язано з сильним утворенням вихорів і з великою втратою енергії.

Відриви пограничного шару, що призводять до зростання рівня втрат повного тиску спостерігаються при течії в дифузорних каналах з великим кутом розкриття.

Керування пограничним шаром дозволяє ліквідувати утворення вихорової течії та зменшити рівень втрат повного тиску в дифузорних каналах. Одним із методів керування пограничним шаром є застосування елементів штучної шорсткості на поверхні дифузорного каналу.

На даний час відома велика кількість робіт, присвячених дослідженню впливу штучної шорсткості на параметри пограничного шару [1–5]. В роботі [6] авторами було показано, що використання елементів штучної шорсткості, висота яких поступово зростає, призводить до зменшення гідравлічних втрат в дифузорному каналі. В роботах [1–6] зазначено, що параметри елементів штучної шорсткості впливають на ефективність їх застосування.

Але до теперішнього часу недостатньо вивчені вплив форми елементів штучної шорсткості на процес інтенсифікації процесів переносу енергії в пограничному шарі. Дослідження, представлені в даній роботі є продовженням роботи [6].

Постановка завдання. При течії реального газу вздовж стінок градієнтних каналів утворюється пограничний шар, який викликає появу втрат повного тиску в каналі. Елементи штучної шорсткості сприяють процесам перемішування всередині пограничного шару, що позитивно впливає на зменшення рівня втрат повного тиску. Важливу роль в процесі перемішування має форма елементів штучної шорсткості. Метою роботи є дослідження впливу форми елементів штучної шорсткості на течію в дифузорному каналі.

Результати дослідження. Розрахунок течії в дифузорному каналі здійснювався методом чисельного моделювання. Система рівнянь Нав'є – Стокса замикалася моделлю турбулентної в'язкості SST Ментера.

Об'єктом досліджень виступав дифузорний канал з встановленими елементами штучної шорсткості у вхідній частині (30% довжини каналу). Елементи штучної шорсткості мали форму піраміди і півсфери. Висота елементів штучної шорсткості поступово змінювалась від 0,2 до 0,5 мм. Враховуючи рекомендації, отримані в роботі [6], висота елементів штучної шорсткості поступово змінювалась від 0,2 до 0,5 мм. Загалом було встановлено 16 рядів елементів штучної шорсткості. Висота елементів штучної шорсткості 1–4 ряду дорівнювала 0,2 мм, 5–8 ряду становила 0,3 мм, 9–12 ряду – 0,4 мм, 13–16 ряду – 0,5 мм. Розрахунок течії відбувався в діапазоні чисел Маху $M=0,2 \dots 0,5$.

Гідродинамічна картина в каналах з дискретною шорсткістю складна і маловивчена. Методи чисельного моделювання дозволяють якісно оцінити зміни структури потоку в каналах з штучною шорсткістю. На рис. 1, 2, 3 зображено поле швидкостей в дифузорному каналі зі штучною шорсткістю різної форми і в гладкому дифузорі.

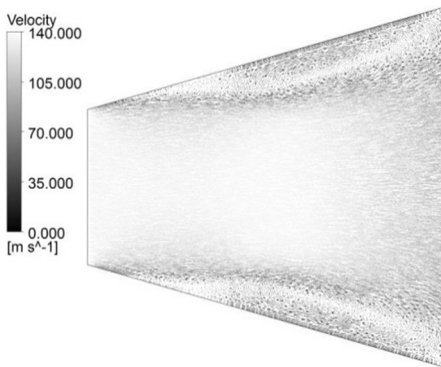


Рис. 1. Векторне поле швидкостей в гладкому дифузорі при $M=0,5$

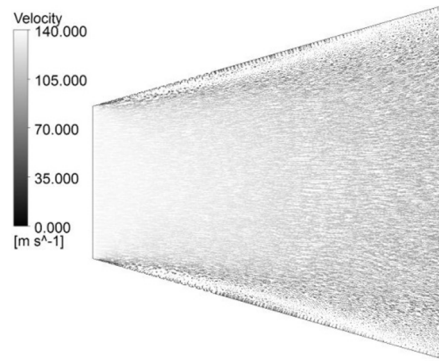


Рис. 2. Векторне поле швидкостей в дифузорі з елементами штучної шорсткості у формі піраміди при $M=0,4$

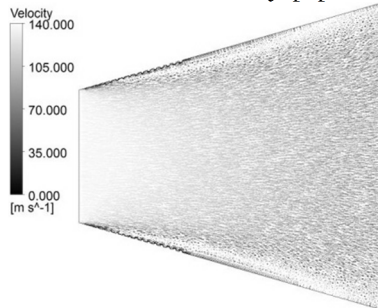


Рис. 3. Векторне поле швидкостей в дифузорі з елементами штучної шорсткості у формі півсфери при $M=0,4$

Штучна шорсткість виконана в формі окремих виступів, розташованих впоперек потоку. Інтенсифікація енергії потоку шляхом штучної шорсткості відбувається за рахунок турбулізації і руйнуванню пристінної зони турбулентного пограничного шару.

За елементами штучної шорсткості відбувається виникнення вихорів. Вихорова зона споживає енергію осередненого руху основного потоку і частково повертає її в потік. Головним чином, енергія повертається в області між елементами штучної шорсткості у вигляді кінетичної енергії пульсаційного руху, яка у формі великих пульсацій швидкості зноситься основним потоком вздовж ліній току і дифундує в сторони від них. Переміщаючись вниз по потоку енергія великих пульсацій швидкості передається меншим пульсаціям, які поступово згасають, тобто відбувається дисипація енергії.

Відносно мала висота елементів штучної шорсткості сприяє формуванню за ними невеликої відривної зони течії, границя якої з ядром потоку розташована близько до стінки. Тому невеликі вихори забезпечують підсилення пульсацій в тонкій пристінній області. Таким чином, за кожним елементом штучної шорсткості в каналі швидко формується і стабілізується оновлений пограничний шар.

Перерозподіл енергії призводить до зменшення рівня втрат повного тиску в дифузорному каналі.

Для оцінки впливу штучної шорсткості на рівень втрат повного тиску в дифузорному каналі використовувався коефіцієнт втрат повного тиску на виході з каналу.

Коефіцієнт втрат повного тиску розраховувався за формулою:

$$\xi = (p_1^* - p_2^*) / \frac{\rho_1 w_1^2}{2},$$

де p_1^* , p_2^* – тиск загальмованого потоку на вході і виході із дифузора, ρ_1 – густина повітря на вході в дифузор, w_1 – швидкість повітря на вході.

На рис. 4 зображено залежність коефіцієнта втрат повного тиску в каналі при різних числах Маха для каналів з різною формою штучної шорсткості.

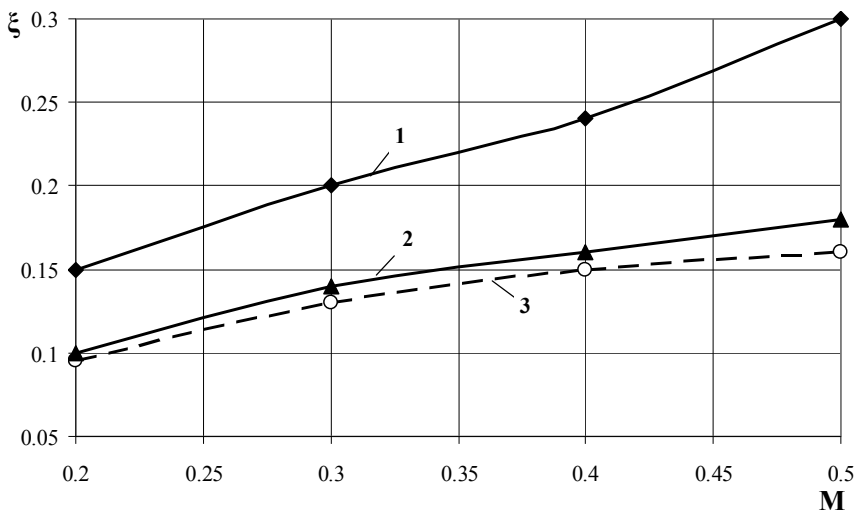


Рис. 4. Залежність коефіцієнта втрат повного тиску в каналі при різних числах Маха: 1 – гладкий дифузорний канал; 2 – дифузорний канал з елементами штучної шорсткості у формі піраміди; 3 – дифузорний канал з елементами штучної шорсткості у формі півсфери

Аналіз отриманих графічних залежностей показує, що найбільша ефективність відбувається при застосуванні елементів штучної шорсткості у формі півсфери. В цьому випадку рівень втрат повного тиску при числах Маху в діапазоні 0,2...0,5 змінюється від 0,95 до 0,16. Елементи штучної шорсткості у формі піраміди теж є ефективними. Рівень втрат повного тиску для дифузрного каналу з елементами штучної шорсткості у форму піраміди при числах Маху в діапазоні 0,2...0,5 змінюється від 0,1 до 0,18. На відміну від гладкого дифузора, який при числах Маху в діапазоні 0,2...0,5 має коефіцієнт втрат повного тиску від 0,15 до 0,29 відповідно.

Отримані результати показують, що інтенсифікації процесів перемішування в пограничному шарі шляхом застосування штучної шорсткості сприяє зменшенню рівня втрат повного тиску в дифузрних каналах.

Висновки. Турбулентні збурення потоку, які генеруються штучною шорсткістю, сприяють інтенсифікації процесів енергообміну в пристінних шарах газу. Форма елементів штучної шорсткості впливає на ефективність їх застосування. Найбільшу ефективність, з точки зору зменшення рівня втрат повного тиску, мають елементи штучної шорсткості у формі півсфери.

Список літератури

1. Терещенко Ю.М. Аэродинамическое совершенствование лопаточных аппаратов компрессоров / Ю.М. Терещенко – М.: Машиностроение, 1987. – 168с.
2. Чжен П. Управления отрывом потока / П.Чжен. – М.: Мир, 1979. – 365с.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1974. – 712 с.
4. Терещенко Ю.М. Моделирование течения в диффузном канале с турбулизаторами / Ю.М. Терещенко, Е. В. Дорошенко, Л. Г. Волянская // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №4/7(64). – С.36-38.
5. Taylor, R. P. Surface roughness measurements on gas turbine blades / R. P. Taylor // Journal of Turbomachinery. – 1990. – Vol. 112, Issue 3. – P. 175–180. doi: 10.1115/1.2927630.
6. Терещенко Ю.Ю. Вплив висоти елементів штучної шорсткості на течію в дифузрному каналі / Ю.Ю. Терещенко // Проблеми тертя та зношування. – 2017. – №3(76). – С.87-92.

Стаття надійшла до редакції 04.11.2017

Дорошенко Катерина Вікторівна – канд. техн. наук, доцент кафедри авіаційних двигунів Національного авіаційного університету, м. Київ, пр. Комарова, 1, тел. 044-406-75-93, e-mail: Kiki_ua@ukr.net

Терещенко Юрій Юрійович – канд. техн. наук, асистент кафедри авіаційних двигунів Національного авіаційного університету, м. Київ, пр. Комарова, 1, тел. 044-406-75-93.

Гуменюк Павло Володимирович – студент 5 курсу Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету, м. Київ, пр. Комарова, 1, тел. 044-406-75-93, e-mail: Terj@nau.edu.ua

Паям Гамзег – аспірант кафедри авіаційних двигунів Національного авіаційного університету, м. Київ, пр. Комарова, 1, тел. 044-406-75-93.

K. V. DOROSHENKO, Yu. Yu. TERESHCHENKO, P. V. GUMENYUK, P. HAMZEG

THE INFLUENCE OF THE SHAPE OF THE ARTIFICIAL ROUGHNESS ON THE FLOW IN THE DIFFUSER CHANNEL

The influence of the shape of the artificial roughness elements on the flow in the diffuser channel was analyzed in the article. Calculations were carried out for Mach numbers in the range 0.2 ... 0.5. Elements of artificial roughness had the form of a pyramid and a hemisphere. The height of the elements of artificial roughness gradually changed from 0.2 to 0.5 mm. Elements of artificial roughness generate turbulent flow disturbances, which contribute to the intensification of energy exchange processes in the wall layers of gas. The shape of the elements of artificial roughness affects the effectiveness of their application. The use of the elements of artificial roughness in the form of a hemisphere is most effective for reducing the total pressure loss.

Keywords: artificial roughness, diffuser channel, flow modeling, frictional forces.

References

1. Tereshchenko Yu.M. Ajerodinamicheskoe sovershenstvovanie lopatochnyh apparatov kompressorov / Ju.M. Tereshhenko – M.: Mashinostroenie, 1987. – 168s.
2. Chzhen P. Upravlenija otryvom potoka / P.Chzhen. – M.: Mir, 1979. – 365s.
3. Shlihting G. Teorija pograničnogo sloja / G. Shlihting. – M.: Nauka, 1974. – 712 s.
4. Tereshchenko Yu.M. Modelirovanie techenija v diffuzornom kanale s turbulizatorami / Ju.M. Tereshhenko, E. V. Doroshenko, L. G. Voljanskaja // Vostočno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2013. – №4/7(64). – S.36-38.5.
5. Taylor, R. P. Surface roughness measurements on gas turbine blades / R. P. Taylor // Journal of Turbomachinery. – 1990. – Vol. 112, Issue 3. – P. 175–180. doi: 10.1115/1.2927630.
6. Tereshchenko Yu. Yu. Vplyv vysoty elementiv shtuchnoyi shorstkosti na tečiyu v dyfuzornomu kanali / Yu.Yu. Tereshchenko // Problemy tertya ta znoshuvannya. – 2017. – №3(76). – S.87-92.