

И. Н. ЗИНЧЕНКО, А. В. СКОРИК, В. П. ПАРАФЕЙНИК

**О ВЛИЯНИИ СФЕРИЧЕСКИХ ЛУНОК НА ПОВЕРХНОСТИ
ЛОПАТОК ДИФфуЗОРА НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС СТУПЕНИ
ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА**

АННОТАЦИЯ Представлены результаты численного исследования влияния сферических лунок, размещённых на поверхности лопаток диффузора, на интегральные характеристики ступени центробежного компрессора. Применение лунок рассматривается совместно с задачей увеличения запаса по помпажу. Увеличение запаса по помпажу обеспечивается за счёт модификации геометрии лопаточного диффузора базовой ступени (поворота лопаток), а лунки применяются для увеличения эффективности ступени в правой части газодинамической характеристики.

Ключевые слова: центробежный компрессор, лопаточный диффузор, сферическая лунка, отрыв потока, интегральные характеристики, численное исследование.

I. ZINCHENKO, A. SKORYK, V. PARAFIYNYK

**ON THE EFFECT OF SPHERICAL DIMPLES AT DIFFUSER VANE SURFACE ON
PERFORMANCE OF CENTRIFUGAL COMPRESSOR**

ABSTRACT The purpose of the paper is to show how the spherical dimples located on vaned diffuser of centrifugal compressor effect on its performance. Centrifugal compressor stage with different modifications of vaned diffuser was calculated using ANSYS CFX. Vanes of the diffuser were turned to decrease the inlet angle of the vanes. This provides shifting of the stage characteristic in the direction of the low mass flow rate. Dimples were located on the vane surface of this modified diffuser with the aim of improving stage performance at the range of negative incidence angles at vane leading edge. The results of numerical computation showed that proposed location of the dimples provides the reducing of the flow separation zone and boundary layer thickness in the diffuser at negative incidence angles and, thus, increasing the efficiency of the compressor stage at corresponding mass flow range. The results of the investigation should be considered as qualitative. The accuracy of the simulation of the complex swirling flows with separation strongly depends on the CFX set-up. Therefore in order to obtain quantitative results a detailed verification (with experimental data) of the flow pattern and diffuser characteristics should be performed.

Key words: centrifugal compressor, vaned diffuser, spherical dimple, flow separation, numerical simulation.

Введение

Влиянию сферических лунок на обтекание аэродинамических поверхностей посвящен целый ряд работ. Применение лунок исследовалось при обтекании шара для гольфа [1], поверхностей летательных аппаратов [2] и теплообмена [3, 4], донной поверхности автомобилей [5], лопаток вентиляторов [6], а также плоских лопаточных решеток [7]. Лунки на поверхности шара для гольфа служат для раннего перехода от ламинарного пограничного слоя (ПС) к турбулентному, который остается присоединенным на более длинном участке поверхности по сравнению с ламинарным, вследствие чего след за шаром и, соответственно, гидравлические потери становятся меньше [1]. Полное покрытие сферическими лунками плоской обтекаемой поверхности не приводит к уменьшению сопротивления [8]. Поэтому в случае полностью турбулентного пограничного слоя, применение лунок является целесообразным только при их локальном размещении на криволинейных поверхностях с целью пассивного управления отрывом потока.

Согласно [9, 3] механизм влияния лунок на отрыв потока следующий. Циркулирующий в лунке вихрь покидает ее, увеличивая кинетическую энергию пристеночного ПС за лункой, увеличивая тем самым его устойчивость.

Работы, в которых рассматриваются углубления как способ повышения эффективности проточной части (ПЧ) центробежного компрессора (ЦК), практически отсутствуют. В частности, в [10] приводится конструкция безлопаточного диффузора с канавками на боковых стенках, а результаты численного исследования, выполненного в работе [11], показывают возможность расширения зоны устойчивой работы в зоне помпажа за счёт применения канавок прямоугольного сечения на боковой стенке лопаточного диффузора (ЛД). В работе [7] рассматривается обтекание плоской компрессорной решётки профилями; при этом лунками покрывается вся поверхность лопаток.

Течение в лопаточных диффузорах ЦК имеет сложный пространственный, ярко выраженный турбулентный характер. Кроме того, оно происходит при положительном градиенте давлений. Поэтому развитие подходов к проектированию таких диффузоров с использованием лунок и учётом влияния всех вышеперечисленных факторов является комплексной и достаточно сложной задачей. В данной работе предпринята попытка с использованием современных CFD-комплексов выявить принципиальную возможность улучшения характеристик ЦК с ЛД за счёт использования сферических лунок, а также определить область режимов работы ЦК, для которых применение ЛД с лунками наиболее целесообразно.

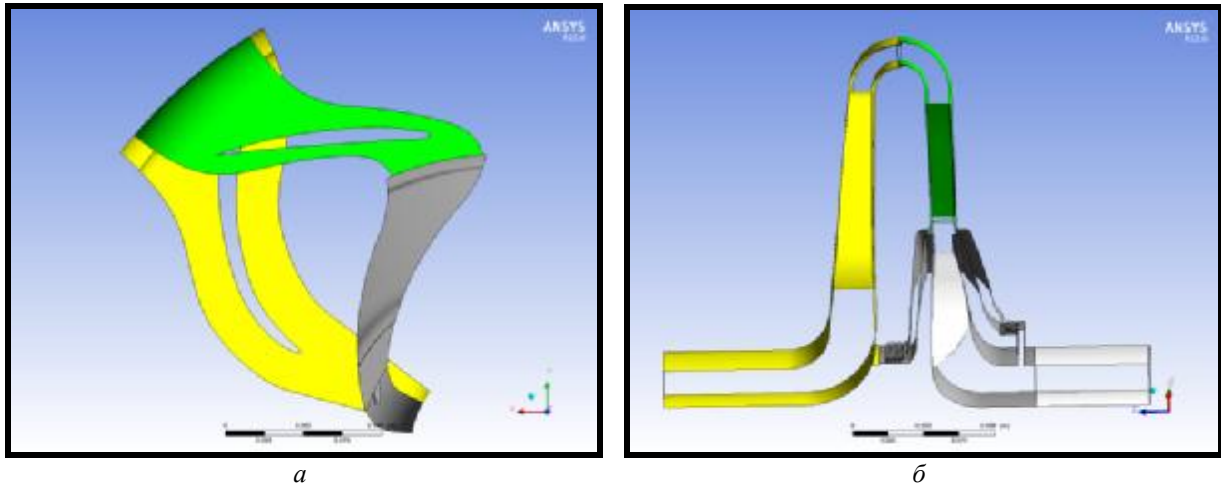


Рис. 1 – Пространственная геометрическая модель расчетной области течения ступени ЦК: а – вид спереди; б – вид слева

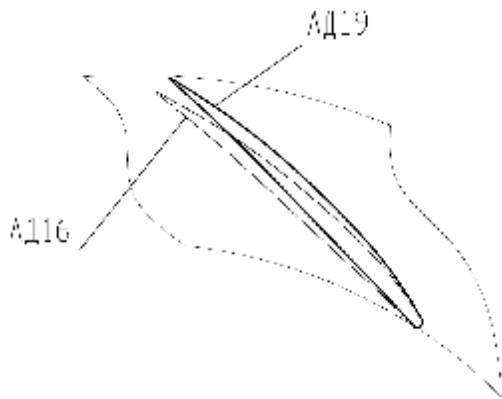


Рис. 2 – Относительное положение профилей лопаток диффузоров ЛД19 и ЛД16

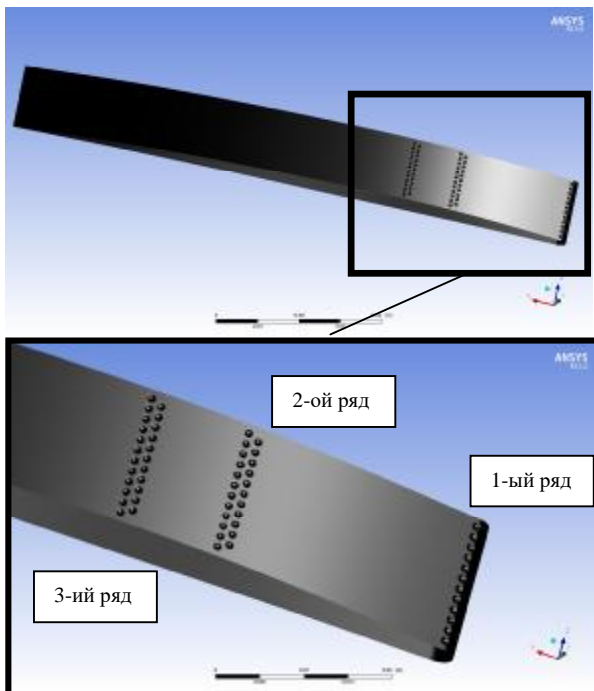


Рис. 3 – Расположение сферических лунок на поверхности лопатки ЛД16л

Объекты исследования

Исследуемая ступень ЦК включает: входной участок кольцевого сечения, рабочее колесо (РК), ЛД, поворотное колено, обратнопроводящий аппарат (рис. 1).

Лопаточная решётка РК с $D_2 = 350$ мм ступени ЦК образована лопатками с углом выхода $\beta_{л2} = 52^\circ$ и постоянной толщиной профиля.

Базовый лопаточный диффузор (ЛД19) имеет 20 лопаток со следующими геометрическими параметрами: входной угол лопатки $\alpha_{л3} = 19^\circ$, выходной угол лопатки $\alpha_{л3} = 34^\circ$, относительный диаметр входной кромки $D_3/D_2 = 1,17$, относительный диаметр выходной кромки $D_4/D_2 = 1,55$, средняя линия очерчена по дуге окружности. Профиль лопаток представлен на рис. 2. Характеристики ряда ступеней, в которых ЛД имеет такой профиль, приведены в [12].

Для смещения области рабочих режимов ступени в сторону меньших расходов выполнена модификация данного диффузора с сохранением профиля лопатки. Модифицированный диффузор (ЛД16) имеет следующие геометрические параметры: $\alpha_{л3} = 16^\circ$, $\alpha_{л4} = 31^\circ$, относительный диаметр входной кромки $D_3/D_2 = 1,17$, относительный диаметр выходной кромки $D_4/D_2 = 1,5$ (рис. 2).

Следующая модификация диффузора представляет собой ЛД16, на поверхности которого расположено три двойных ряда сферических лунок (ЛД16л). Трёхмерная модель ЛД16л представлена на рис. 3. Отношение глубины лунок к диаметру ($d_{л} = 0,9$ мм) составляет 0,1.

Методические особенности процесса численного исследования

Расчет течения в ступени выполнялся в ANSYS CFX v.15.0.7. Пространственная геометрическая модель расчётной области течения в ступе-

ни ЦК представлена на рис. 1. Она также включает зазоры между РК и статорными элементами ступени, течение в которых учитывалось при расчёте.

Расчеты выполнялись в стационарной постановке с использованием схемы дискретизации высокого разрешения (*High Resolution*). В качестве граничных условий на входе в ступень задавались полное давление и температура, на выходе задавался массовый расход. Распределение параметров потока на входе в ступень равномерное. Применялась *SST*-модель турбулентности. Интерфейс между РК и статорными элементами ступени – *Stage*. Теплообмен с окружающей средой не учитывался (*adiabatic walls*). Для рабочей среды применяется модель идеального газа (воздух). Условное число Маха $M_{in2} = 0,79$.

Общее количество элементов сетки ступени составляет $\approx 12\,000\,000$. Количество пристеноч-

ных слоев сетки в каждом элементе ступени не ниже 20, а y^+ не превышает 6.

Для обеспечения адекватности сравнения получаемых результатов соблюдалась идентичность топологии сеток всех вариантов ЛД.

Постановка задачи и результаты исследования

На начальном этапе работы была выполнена серия расчетов с использованием базовой геометрии ЛД исследуемой ступени ЦК в *ANSYS CFX* с целью получения ее интегральных характеристик (рис. 4). На практике на части характеристики при уменьшении расхода повышение напора не происходит. Таким образом, часть ее является нерабочей, а фактическая граница помпажа ступени с ЛД19 располагается на режиме с $\Phi_0 = 0,038$. С учетом того, что оптимальный режим работы ступени соответствует $\Phi_{0opt} = 0,045$, запас по помпажу составляет около 15 %.

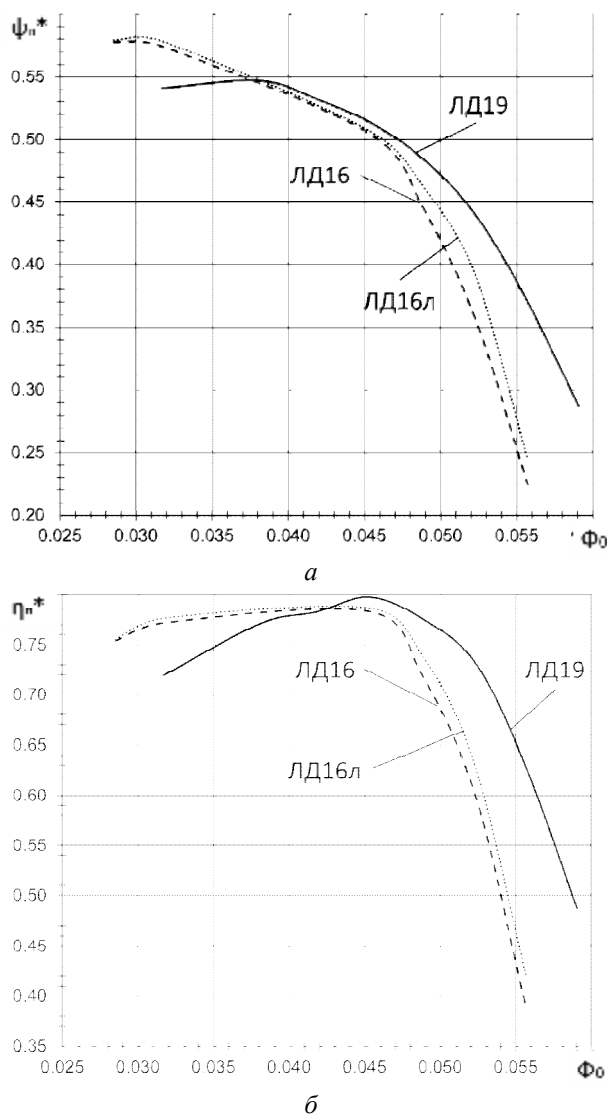


Рис. 4 – Интегральные характеристики ступени с базовым и модифицированными вариантами ЛД: а – зависимость коэффициента политропного напора от коэффициента расхода; б – зависимость политропного КПД от коэффициента расхода

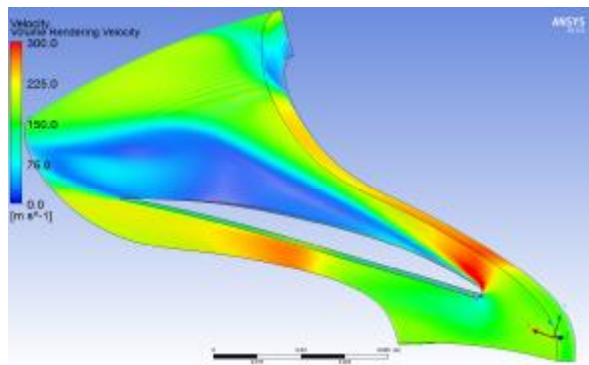
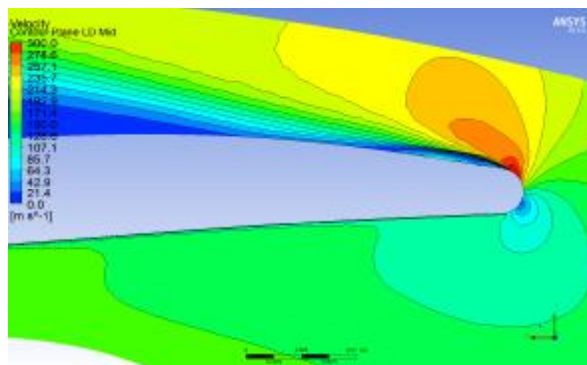
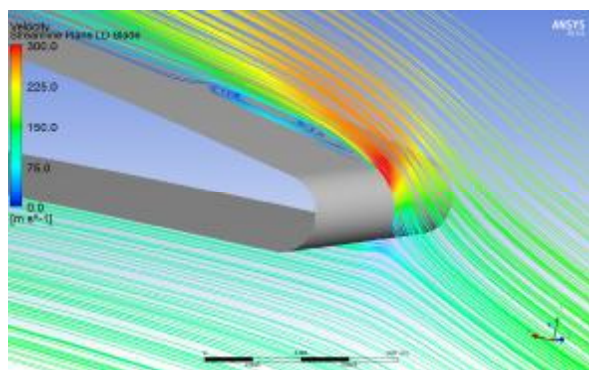


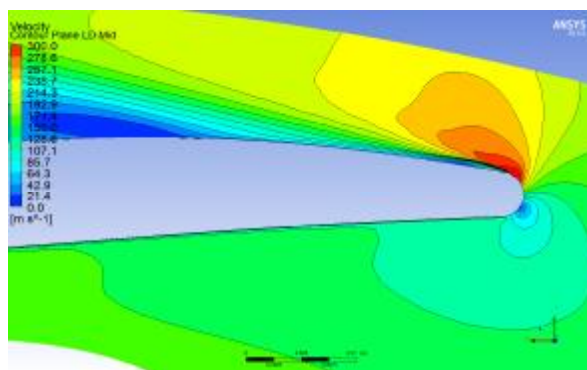
Рис. 5 – Поле скоростей в ЛД16 при $\Phi_0 > \Phi_{0opt}$



а

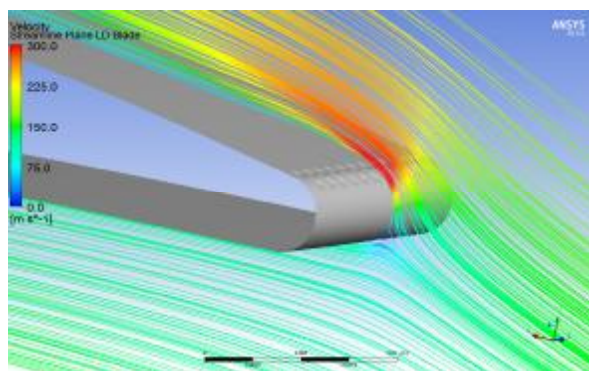


а



б

Рис. 8 – Поля скоростей в ЛД16 и ЛД16л:
а – ЛД16; б – ЛД16л



б

Рис. 6 – Линии тока у входных кромок диффузоров ЛД16 и ЛД16л при $\Phi_0 = 0,052$:
а – ЛД16; б – ЛД16л

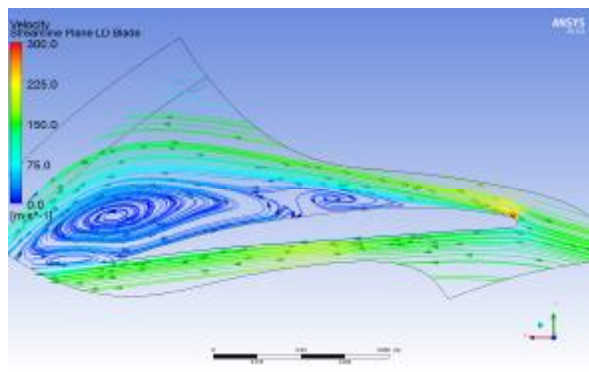


Рис. 7 – Векторы скорости в ЛД16 при $\Phi_0 = 0,048$

Расширение зоны устойчивой работы ЦК в левой части характеристики возможно путем изменения геометрии ЛД. Уменьшение входного угла лопаток $\alpha_{л3}$, а, следовательно, и $\alpha_{л4}$ (за счёт поворота лопатки вокруг входной кромки), позволяет сместить характеристику ЦК в зону меньших расходов. Напротив, увеличение $\alpha_{л3}$ смещает характеристику ступени вправо по расходу.

На рис. 4 представлены характеристики ступени с базовым ЛД с $\alpha_{л3} = 19^\circ$ (ЛД19) и модифицированным ЛД с $\alpha_{л3} = 16^\circ$ (ЛД16). При этом профиль лопаток у всех ЛД одинаковый. Видно, что в случае применения ЛД16 (при $\Phi_{0opt} = 0,045$) запас по помпажу увеличивается по сравнению со ступенью с ЛД19 и составляет около 30 %. Однако при использовании ЛД16 показатели работы ступени в правой ветви характеристики неизбежно ухудшаются (при $\Phi_0 > \Phi_{0opt}$) по сравнению с ЛД19 (рис. 4).

Ухудшение показателей эффективности в этой области характеристики вызвано ударным характером обтекания ЛД. В результате этого вблизи входной кромки ЛД возникает отрыв потока (рис. 5). Очевидно, что если уменьшить область отрыва потока или сдвинуть режим возникновения отрыва в область больших расходов, то правая ветвь характеристики ступени с ЛД16 будет приближаться к характеристике базовой ступени. Ука-

занное воздействие на поток может быть реализовано при помощи сферических лунок, расположенных на поверхности лопаток ЛД16. Таким образом, в качестве объекта дальнейшего исследования выбрана модификация диффузора ЛД16 со сферическими лунками на лопатках (ЛД16л), а целью исследования является улучшение его характеристик в области отрицательных углов атаки.

Влияние месторасположения лунок на поверхности лопаток на течение в межлопаточном канале диффузора

При обтекании решетки профилей можно выделить следующие причины возникновения отрыва потока:

- 1) ударное натекание на входную кромку с углами атаки отличными от нуля, что вызывает отрыв потока непосредственно у входной кромки;
- 2) неблагоприятный градиент давления, обусловленный формой межлопаточного канала, что вызывает отрыв потока с поверхности лопатки на некотором удалении от входа в канал;
- 3) конечная толщина лопаток, что вызывает отрыв при сходе потока с лопатки или т.н. «след». В данной работе рассмотрено влияние лунок на отрыв потока, вызванный первыми двумя факторами.

Поскольку обтекание лопаток диффузора на режимах с $\Phi_0 > \Phi_{0\text{опт}}$ происходит с отрицательными углами атаки, то непосредственно за входной кромкой образуется срывная зона (рис. 6а). Это в свою очередь приводит к нарастанию толщины ПС вдоль лопатки, а, следовательно, к более раннему срыву потока с поверхности лопатки (рис. 7).

Для того, чтобы обеспечить более благоприятное обтекание входной кромки лопатки при отрицательных углах атаки 1-ый двойной ряд сферических лунок был расположен непосредственно вблизи нее. Это позволило уменьшить объем, занимаемый зоной отрыва потока, и толщину ПС у входной кромки (рис. 6б), улучшив тем самым характер течения вдоль по потоку.

Для уменьшения зоны отрыва потока с поверхности лопаток, вызванного положительным градиентом давления, предназначены 2-ой и 3-ий ряды сферических лунок (рис. 8б).

На рис. 8 наглядно показано, что эффективность второго двойного ряда лунок зависит непосредственно от работы лунок, расположенных у входной кромки. Поскольку лунки у входной кромки способствуют уменьшению толщины ПС вдоль по потоку, то последующий отрыв потока с поверхности лопатки наступает позднее.

Характеристики ступени с ЛД16л представлены на рис. 4. Как показывают результаты анализа характеристик, уменьшение области отрыва потока вблизи входной кромки, а также на поверхности лопатки, позволило улучшить характеристи-

ки диффузора и ступени на режимах с $\Phi_0 > \Phi_{0\text{опт}}$. Так, при $\Phi_0 = 0,048$ коэффициент политропного напора вырос на 1,5 %, а политропный КПД на 2 %. На режиме с $\Phi_0 = 0,052$ коэффициент политропного напора вырос на 3,5 %, а политропный КПД на 3 %. При этом применение лунок не повлияло на эффективность работы ступени на режимах с $\Phi_0 < \Phi_{0\text{опт}}$.

Заключение

Применение представленной конфигурации рядов сферических лунок на выпуклой поверхности профиля лопатки в диффузоре ступени ЦК, позволило улучшить ее характеристики на режимах с $\Phi_0 > \Phi_{0\text{опт}}$. Это достигается за счет формирования с помощью лунок более благоприятной структуры потока в каналах ЛД для случая течения с отрицательными углами атаки на входе в диффузор.

Следует учитывать, что на картину моделирования течения в пристеночном слое определяющее влияние оказывает модель турбулентности, включающая ряд эмпирических коэффициентов. Это непосредственно сказывается на точности определения точки отрыва потока, а также на размере зоны отрыва. Определенное влияние на моделирование отрывных течений оказывает также расчетная сеточная модель. Поэтому эффект влияния лунок, полученный в настоящей работе, следует оценивать как качественный.

Обтекание лопаток статорных элементов со сферическими лунками в составе ступени центробежного компрессора требует дальнейшего детального изучения. Поскольку течение в каналах ЛД компрессора является закрученным и в высокой степени нестационарным, что в значительной степени влияет на характер течения вблизи лунок (а также в самих лунках), то их геометрия при дальнейших исследованиях должна выбираться с учетом вышеприведенных факторов.

Список литературы

- 1 **Bearman, P. W.** Golf ball aerodynamics [Text] / **P. W. Bearman, J. K. Harvey** // *Aeronautical Quarterly*. – 1976. – Vol. 27, Pt. 2. – P. 112–122.
- 2 **Исаев, С. А.** Моделирование эффекта повышения аэродинамического качества 37.5%-го толстого профиля со щелевым отсосом в вихревых ячейках с учетом влияния сжимаемости [Текст] / **С. А. Исаев, П. А. Баранов, А. Г. Судаков, А. М. Ермаков** // *Письма в журнал технической физики*. – 2015. – № 41, Вып. 2. – ISSN 0320-0116.
- 3 **Халатов, А. А.** Вихревые технологии аэротермодинамики в энергетическом газотурбостроении [Текст] / **А. А. Халатов**. – Киев : Институт технической теплофизики НАН Украины, 2008. – 292 с. – ISBN 978-966-02-4917-2.
- 4 **Гортышов, Ю. Ф.** Теплогидравлическая эффективность перспективных способов интенсификации

- теплоотдачи в каналах теплообменного оборудования [Текст] / Ю. Ф. Гортышов, И. А. Попов, В. В. Олимпиев, А. В. Щелчков, С. И. Каськов. – Казань : Центр инновационных технологий, 2009. – 531 с. – ISBN 978-5-93962-322-2.
- 5 **Кикнадзе, Г. И.** Явление самоорганизации смерчеобразных струй в потоках сплошной среды и технологий на его основе [Текст] / Г. И. Кикнадзе // Труды XVI Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А. И. Леонтьева. – С.-Петербург ; Москва : Издательский дом МЭИ, 2007. – С. 341–345.
 - 6 Copyright Zaward Corporation. Вентиляторы Golf Fan фирмы Zaward [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.zaward.com. – 12.12.2015.
 - 7 **Щербаков, М. А.** Способ пассивного воздействия на поток в компрессорной решётке [Текст] / М. А. Щербаков, Е. Ю. Марчуков, Л. Л. Карговицкий, А. А. Юн // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 9. – С. 41–45. – ISSN 1727-7337.
 - 8 **Wieghardt, K.** Erhöhung des turbulenten Reibungswiderstandes durch Oberflächenstörungen [Text] / K. Wieghardt // *Forschft, Schiffstech.* – 1953. – № 2. – S. 65–81.
 - 9 **Robarge, T.** Design considerations for using intended surface treatments to control boundary layer separation [Text] / T. Robarge, A. Stark, K.-M. Seong, A. Khalatov, A. Byerley // The 42 AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. – Reno, USA. – 2004. – eISBN 978-1-62410-078-9.
 - 10 А.с. 591615 СССР, М. Кл.² F 04 D 17/00. Центробежный компрессор / Шквар А. Я., Щербак Ю. Г., Гапонов С. А., Вишубский И. М. – № 2347945/25-06 ; заявл. 14.04.76 ; опубл. 05.02.78. – Бюл. № 5. – 2 с.
 - 11 **Chen, X. F.** Numerical investigation of a centrifugal compressor with circumferential grooves in vane diffuser [Text] / X. F. Chen, G. L. Qin, Z. J. Ai // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 90, Issue 1. – ID 012043.
 - 12 **Селезнев, К. П.** Центробежные компрессоры [Текст] / К. П. Селезнев, Ю. Б. Галеркин. – Ленинград : Машиностроение, 1982. – 271 с.
- Bibliography (transliterated)**
- 1 **Bearman, P. W. and Harvey, J. K.** (1976), ²Golf ball aerodynamics², *Aeronautical Quarterly*. Vol. 27, Pt.2, pp. 112–122.
 - 2 **Isaev, S. A., Baranov, P. A., Sudakov, A. G. and Ermakov, A. M.** (2015), ²Modelirovanie efekta povysheniya ajerodinamicheskogo kachestva 37.5%-go tolstogo profilja so shhelevym otsosom v vihrevyh jachejkah s uchetom vlijaniya szhimaemosti [Modeling the effect of increasing the aerodynamic efficiency of 37.5% thick profile with a slotted suction in vortex cells, taking into account the effects of compressibility]², *Pis'ma v zhurnal tehnichej fiziki*, no. 41, vol. 2, ISSN 0320-0116. Russian.
 - 3 **Khalatov, A. A.** (2008), *Vihrevye tehnologii ajerotermodinamiki v jenergeticheskom gazoturbostroenii [Aero-thermal vortex technologies for power engineering gas turbines]*, Institute of Engineering Thermophysics Ukrainian National Academy of Science, Kiev, ISBN 978-966-02-4917-2, Ukraine.
 - 4 **Gortyshev, Ju. F., Popov, I. A., Olimpjev, V. V., Shhelchkov, A. V. and Kas'kov, S. I.** (2009), *Teplogidravlicheskaja jeffektivnost' perspektivnyh sposobov intensifikacii teplootdachi v kanalah teploobmennogo oborudovanija [Thermal and hydraulic efficiency of perspective ways of heat transfer intensification in the channels of heat exchange equipment]*, Centr innovacionnyh tehnologij, Kazan', ISBN 978-5-93962-322-2. Russian.
 - 5 **Kiknadze, G. I.** (2007), ²Javlenie samoorganizacii smercheobraznyh struj v potokah sploshnoj sredy i tehnologij na ego osnove [The phenomenon of self-organization of tornado streams of continuous fluid and technologies based on it]², *Trudy XVI Shkoly-seminara molodyh uchenyh i specialistov pod rukovodstvom akademika RAN A. I. Leont'eva*, Izdatel'skij dom MJEI, St.-Petersburg, Moscow, pp. 341–345.
 - 6 **Copyright Zaward Corporation.** (2015) ²Golf Fan Zaward², available at: www.zaward.com (Accessed 12 December 2015).
 - 7 **Shherbakov, M. A., Marchukov, E. Ju., Kartovickij, L. L. and Jun, A. A.** (2010), ²Sposob passivnogo vozdeystvija na potok v kompressornoj reshetke [The passive flow control method in the compressor cascade]², *Aerospace Technic and Technology*, no. 9, pp. 41–45, ISSN 1727-7337.
 - 8 **Wieghardt, K.** (1953), ²Erhöhung des turbulenten Reibungswiderstandes durch Oberflächenstörungen², *Forschft, Schiffstech*, no. 2, pp. 65–81.
 - 9 **Robarge, T., Stark, A., Seong, K.-M., Khalatov, A. and Byerley A.** (2004), ²Design considerations for using intended surface treatments to control boundary layer separation², *The 42 AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*, eISBN 978-1-62410-078-9, USA.
 - 10 **Shkvar, A. Ja., Shherbak, Ju. G., Gaponov, S. A. and Virshubskij, I. M.** (1978), ²Centrifugal compressor², Pat. 591615, no. 2347945/25-06, SSSR.
 - 11 **Chen, X. F., Qin, G. L. and Ai Z. J.** (2015), ²Numerical investigation of a centrifugal compressor with circumferential grooves in vane diffuser², *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 90, Issue 1, ID 012043.
 - 12 **Seleznev, K. P. and Galerkin Ju. B.** (1982), *Centrobezhnye kompressory [Centrifugal compressors]*, Mashinostroenie, Leningrad, SSSR.

Сведения об авторах (About authors)

Зинченко Игорь Николаевич – старший научный сотрудник, научно-исследовательский отдел газодинамики, динамики и прочности машин, ПАО «Сумское НПО», г. Сумы, Украина; e-mail: zinchenko_i@frunze.com.ua
Zinchenko Igor – Senior Research Fellow, Department of Gas Dynamics, Dynamics and Strength of Machines, Sumy Frunze NPO, Sumy, Ukraine; e-mail: zinchenko_i@frunze.com.ua

Скорик Андрей Викторович – кандидат технических наук, научный сотрудник, научно-исследовательский отдел газодинамики, динамики и прочности машин, ПАО «Сумское НПО», г. Сумы, Украина; e-mail: skorik_a@frunze.com.ua

Skoryk Andriy – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Research Fellow, Department of Gas Dynamics, Dynamics and Strength of Machines, Sumy Frunze NPO, Sumy, Ukraine; e-mail: skorik_a@frunze.com.ua

Парафейник Владимир Петрович – Доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, научно-исследовательский отдел газодинамики, динамики и прочности машин, ПАО «Сумское НПО», г. Сумы, Украина; e-mail: sparzha-2008@mail.ru ORCID: 0000-0001-7061-6992

Parafiyuk Vladimir – Doctor of Technical Sciences (Dr. Sci.), Associate Professor, Leading Research Fellow, Department of Gas Dynamics, Dynamics and Strength of Machines, Sumy Frunze NPO, Sumy, Ukraine; e-mail: sparzha-2008@mail.ru ORCID: 0000-0001-7061-6992

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Зинченко, И. Н. О влиянии сферических лунок на поверхности лопаток диффузора на рабочий процесс ступени центробежного компрессора [Текст] / **И. Н. Зинченко, А. В. Скорик, В. П. Парафейник** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 9(1181). – С. 37–43. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.05.

Please cite this article as:

Zinchenko, I., Skoryk, A. and Parafiyuk, V. (2016), ²On the effect of spherical dimples at diffuser vane surface on performance of centrifugal compressor², *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 9(1181), pp. 37–43, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.05.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Зинченко, И. М. Про вплив сферичних лунок на поверхні лопаток диффузора на робочий процес ступеня відцентрового компресора [Текст] / **И. М. Зинченко, А. В. Скорик, В. П. Парафійник** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 9(1181). – С. 37–43. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.05.

АНОТАЦІЯ Представлені результати числового дослідження впливу сферичних лунок, розміщених на поверхні лопаток диффузора, на інтегральні характеристики ступені відцентрового компресора. Застосування лунок розглянуто спільно з завданням збільшення запасу по помпажу. Збільшення запасу по помпажу забезпечується за рахунок модифікації геометрії лопаткового диффузора базового ступеня (поворот лопаток), а лунки застосовуються для збільшення ефективності ступеня в правій частині газодинамічної характеристики.

Ключові слова: відцентровий компресор, лопатковий диффузор, сферична лунка, відрив потоку, інтегральні характеристики, числове дослідження

Надійшла (received) 17.01.2016