

## МОДЕРНИЗАЦИЯ КРЫЛЬЧАТКИ ВЕНТИЛЯТОРА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

© 2015 Е.И. Куркин, О.Е. Лукьянов, М.А. Хоробрых

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева  
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 07.04.2015

В статье решается задача численного моделирования взаимодействия воздушной среды и твёрдого тела - исследуются аэродинамические характеристики устанавливаемого в воздушном канале вентилятора с крыльчатками различного исполнения, а также проводится оценка напряжённо-деформированного состояния крыльчаток вентилятора при его эксплуатации. Сравнение характеристик исходной и модернизированной крыльчаток вентилятора исполнений показало, что модернизированная крыльчатка вентилятора обеспечивает увеличение расхода воздуха на 24 - 30% при той же частоте вращения вентилятора. Наиболее опасным с точки зрения прочности крыльчатки являются инерционные нагрузки от вращения вентилятора, вызывающие концентрацию напряжений в зонах стыка лопаток со ступицей в районе передних и задних кромок.

**Ключевые слова:** вентилятор, крыльчатка, моделирование, воздух, расход, нагрузки, напряжённо-деформированное состояние, характеристики.

### ВВЕДЕНИЕ

Вентиляторы, как наиболее распространённое устройство для перемещения газов в пространстве с небольшой степенью сжатия, нашли широкое применение в системах принудительной приточно-вытяжной и местной вентиляций объёмов воздуха, в системах обдува нагревательных и охлаждающих элементов в устройствах обогрева и кондиционирования воздуха, а также системах обдува радиаторов охлаждения различных устройств.

Вентиляторы зачастую являются элементами сложных воздушных систем, которые в силу физических особенностей обладают гидравлическими потерями, что снижает КПД этих систем. Это условие всегда ставит перед разработчиками вентиляторов первоочередную задачу повышения технических и экономических характеристик этих устройств. Вентилятор как устройство, создающее перепад давления для передвижения масс воздуха или газов в пространстве, является источником шума. Поэтому особое внимание следует уделять мероприятиям по совершенствованию формы крыльчаток вентилятора с целью удовлетворения экологическим нормам по уровню шума.

Целью данной работы является сопоставление аэродинамических характеристик крыльчаток двух вентиляторов: вентилятора с крыль-

чаткой исходного геометрического исполнения и вентилятора с модернизированной крыльчаткой.

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

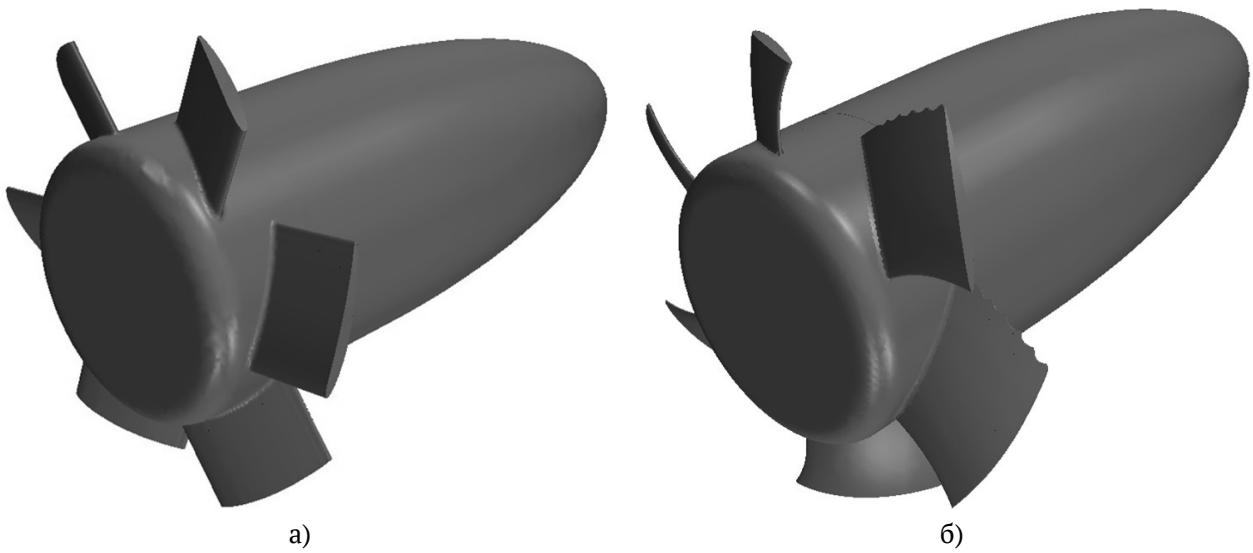
Решается совместная задача взаимодействия воздушной среды и твёрдого тела. Оцениваются аэродинамические характеристики крыльчатки вентилятора и воздействие воздушной нагрузки, а также центростремительного ускорения от вращения на напряжённо-деформированное состояние крыльчатки вентилятора.

Проводится сравнение аэродинамических и прочностных характеристик вентилятора исходной геометрии (рис. 1а) и вентилятора, оснащённого модернизированной крыльчаткой (рис. 1б). Вентилятор исходного исполнения оснащён крыльчаткой, которая состоит из шести лопаток. Лопатки прямоугольной формы в плане имеют по длине постоянный угол установки, в сечении имеют симметричный профиль постоянной относительной толщины с нулевой относительной кривизной (рис. 2а).

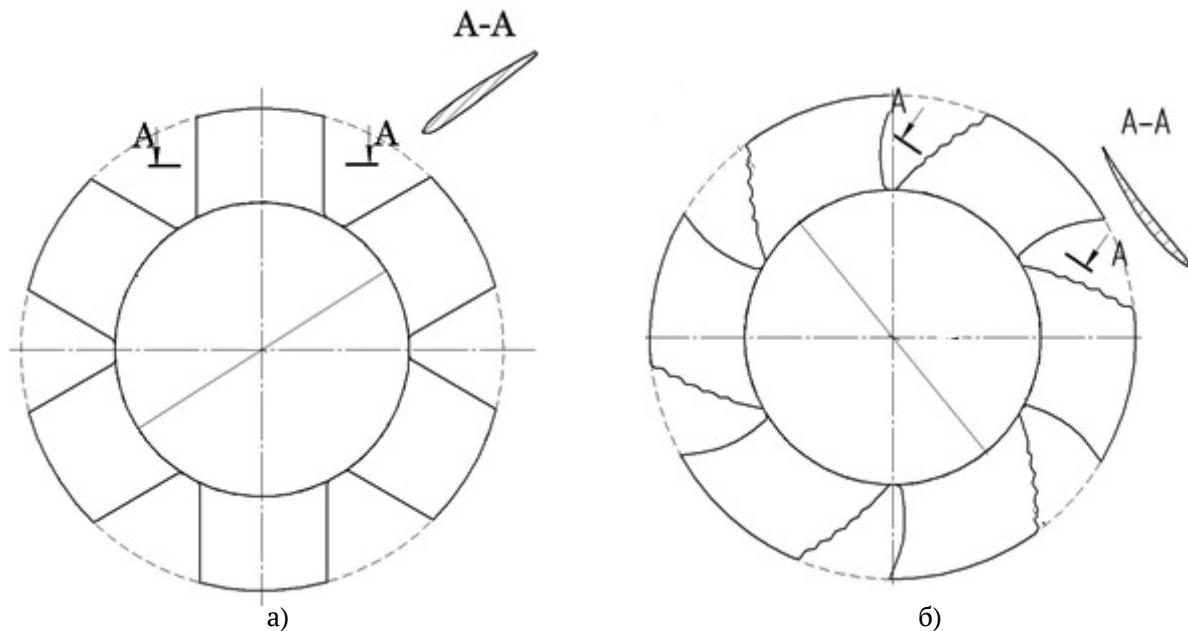
Модернизированная крыльчатка оснащена шестью «саблеобразными» лопатками сложной формы в плане. Лопаткам придана геометрическая и аэродинамическая крутки. Серединная поверхность лопаток загнута назад. Передняя кромка лопатки имеет переменную стреловидность (от ноля в комле до отрицательного значения на законцовке), а задняя кромка оснащена «шевронами» для снижения уровня шума. Профиль лопатки имеет значительную кривизну и переменную относительную толщину по длине лопасти (рис. 2б).

Обе крыльчатки вентилятора насаживаются на вал электродвигателя и помещаются в воз-

Куркин Евгений Игоревич, кандидат технических наук, ассистент кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов. E-mail: eugene.kurkin@mail.ru  
Лукьянов Олег Евгеньевич, магистрант института авиационной техники. E-mail: lukyanovoe@mail.ru  
Хоробрых Михаил Александрович, студент института авиационной техники. E-mail: horobryhmikhail@gmail.com



**Рис. 1.** Трёхмерная геометрическая модель крыльчатки с обтекателем электродвигателя:  
а – исходная, б – модернизированная



**Рис. 2.** Крыльчатка вентилятора:  
а – исходная, б – модернизированная

душный канал. Зазор между законцовкой лопатки и стенкой канала составляет 0,75 мм. Согласно техническому заданию крыльчатки вентиляторов эксплуатируются в широком диапазоне частот вращения: от 10 000 до 16 000 оборотов в минуту.

Исследование аэродинамических характеристик крыльчаток проведено путем решения осреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье–Стокса с помощью метода конечных объёмов, реализованного в пакете STAR CCM+. При моделировании обтекания крыльчатки использовалась модель турбулентности SST, параметры газа приняты согласно параметрам воздуха стандартной атмосферы.

Моделирование вращающейся крыльчатки было произведено с помощью разделения расчетной области на три части (рис. 3):

- область, моделирующая входное устройство воздушного канала;
- вращающаяся область с крыльчаткой;
- область, моделирующая выходное устройство воздушного канала.

На входе в область входного устройства было задано граничное условие стагнации потока (условие равенства нулю полного давления), на выходе из области выходного устройства – давление на выходе. Области с крыльчаткой присвоено граничное условия вращения с определённой угловой скоростью. Поверхность крыльчатки при этом неподвижна в системе координат, связанной с вращающейся областью сетки, а стенка канала, расположенная вокруг крыльчатки, – неподвижна в абсолютной системе координат.

Пространство рабочей области разбито на

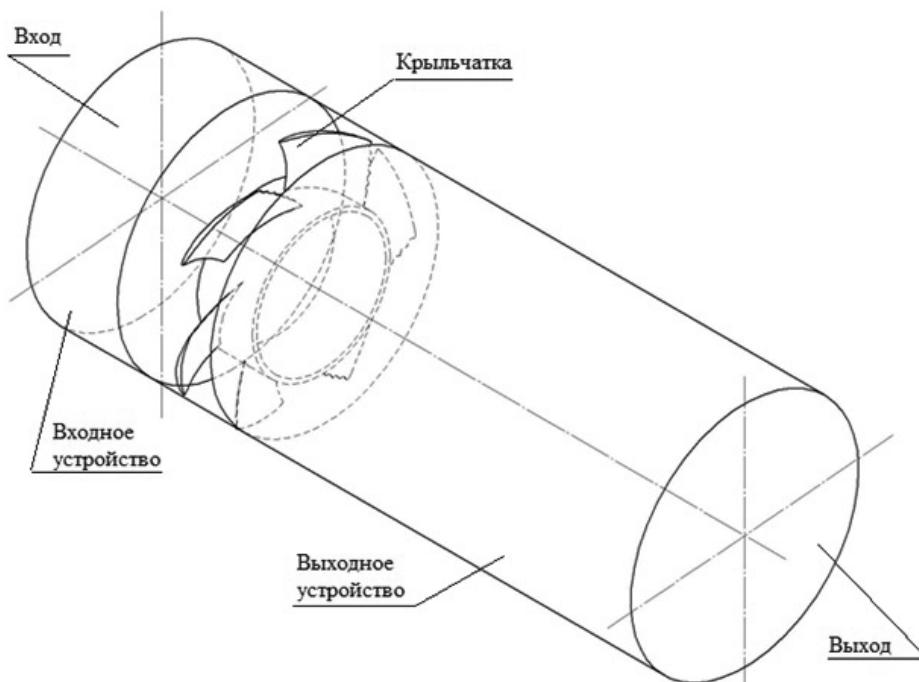


Рис. 3. Схема расчетной области

конечные объёмы, образующие расчётную сетку. Тип элемента – усечённый шестигранник (рис. 4). Для более подробного моделирования пристеночных течений сгенерирован тонкий призматический слой объёмных ячеек на стенках канала, а также стенках крыльчатки.

Воздушные нагрузки, получаемые в результате аэродинамического расчёта, передаются в CAE – модуль пакета Siemens NX с целью исследования НДС крыльчаток вентилятора методом конечных элементов. Крыльчатки вентиляторов нагружаются инерционными нагрузками от центростремительного ускорения и воздушной нагрузкой, образуемой полем давления вокруг лопаток крыльчаток. Границные условия выбраны исходя из технических требований насадки вентилятора на вал электродвигателя (рис. 5). На основе геометрических моделей крыльчаток вентиляторов были созданы конечно-элементные модели, представленные на рис. 6.

Исходя из предполагаемой технологии изготовления принято допущение, что крыльчатки вентилятора изготавливаются из квазизотропного материала с плотностью  $\rho = 1600 \text{ кг}/\text{м}^3$  и модулю упругости 25 462 МПа и коэффициентом Пуассона 0,35. Предел прочности принимается равным 202 МПа.

## 2. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЫЛЬЧАТОК ВЕНТИЛЯТОРА

Аэродинамические характеристики вентиляторов исследовались в диапазоне частот вращения от 10 000 до 16 000 оборотов в минуту. Для каждой частоты вращения каждой крыльчатки определены поля скоростей и давления в воздушном канале, а также величина расхода воздуха.

Поля распределения давления при частоте вращения 16 000 об/мин представлены на рис. 7. На рис. 8 - 9 представлены поля осевой проекции

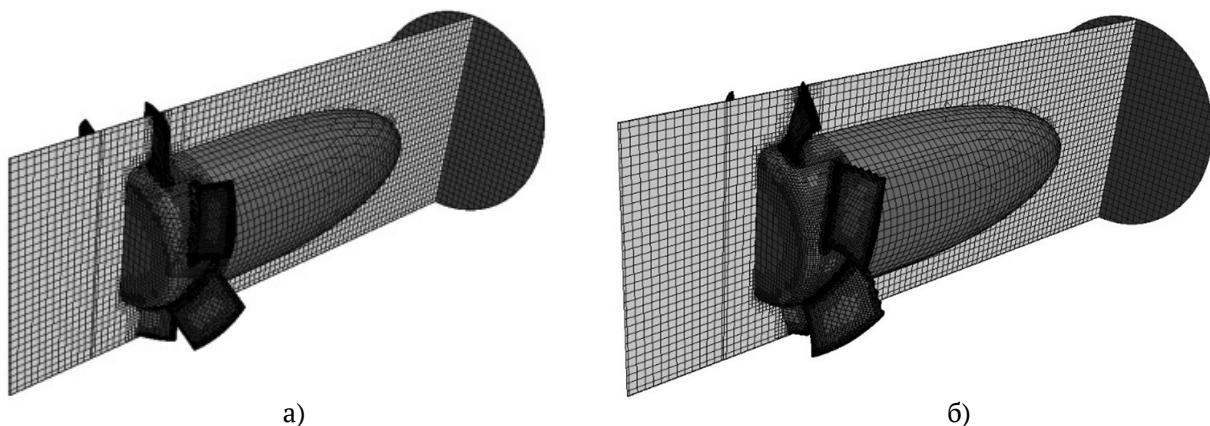
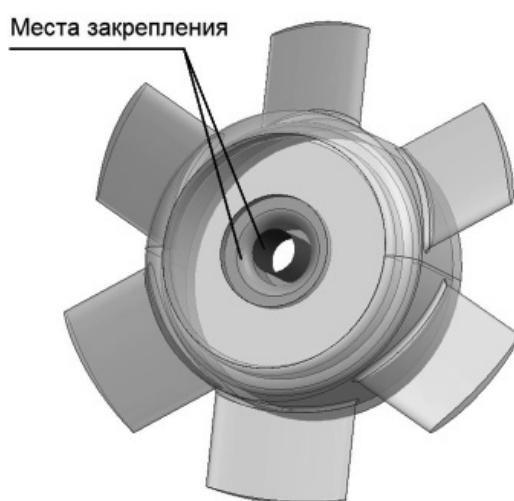


Рис. 4. Расчетная сетка:  
а – исходная крыльчатка, б – модернизированная крыльчатка



**Рис. 5.** Схема закрепления для расчета напряженно-деформированного состояния скорости воздушного потока в каналах при вращающихся крыльчатках, 16 000 об/мин.

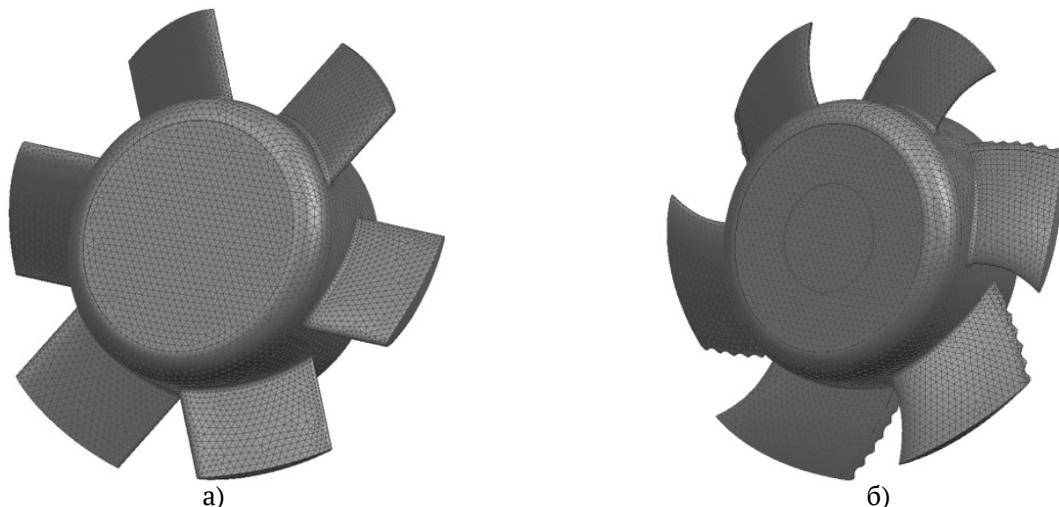
Таким образом, при вращении исходной крыльчатки в канале с частотой вращения 16 000 об/мин, повышение давления на выходе исходной крыльчатки составляет  $\Delta P = 1203$  Па, при вращении модернизированной крыльчатки –  $\Delta P = 2464$  Па.

При этом исходная крыльчатка создаёт поток средней скоростью 31 м/с, тогда как модернизированная крыльчатка создает поток средней скоростью 37 м/с.

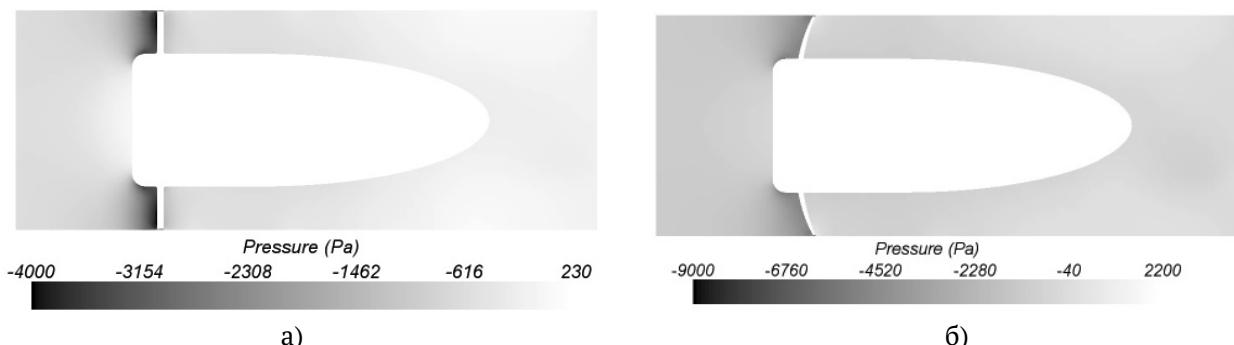
Зависимость часового расхода воздуха в воздушном канале  $Q$  от частоты вращения  $n$  при работе исходной и модернизированной крыльчаток представлена на рис. 10.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КРЫЛЬЧАТОК ВЕНТИЛЯТОРА

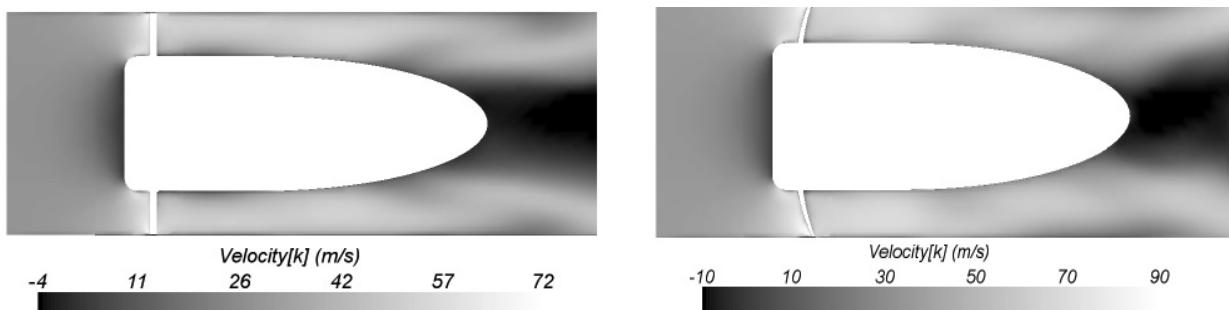
Значения напряжений, возникающие в теле исходной и модернизированной крыльчаток от центrostремительного ускорения и от воздушной нагрузки при частоте вращения 16 000 об/мин представлены на рис. 11-12. Напряжения, вызываемые воздушной нагрузкой в теле крыльчаток невелики (5..10 МПа), что позволяет утверждать об их низком влиянии на напряженно-деформированное состояние крыльчаток сравнительно с воздействием центростремительного ускорения от вращения (120-144 МПа). На рис. 13 представлены суммарные эквивалентные напряжения, возникающие в теле крыльчаток при их вращении.



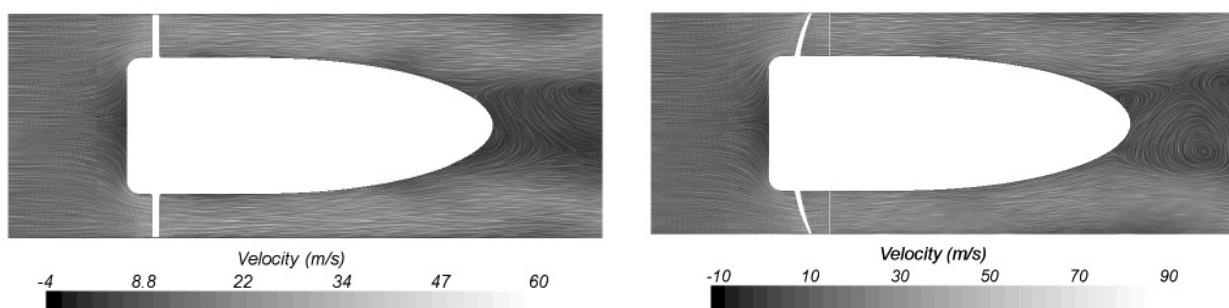
**Рис. 6.** МКЭ – модели крыльчаток:  
а – исходная б – модернизированная



**Рис. 7.** Поле давлений в воздушном канале с работающей крыльчаткой при частоте вращения 16 000 об/мин:  
а – исходная крыльчатка, б – модернизированная крыльчатка



**Рис. 8.** Поле осевой проекции скорости воздушного потока в канале при вращающейся крыльчатке, 16 000 об/мин:  
а – исходная, б – модернизированная



**Рис. 9.** Векторное поле скоростей в свертке линейного интеграла воздушного потока в канале при вращающейся крыльчатке, 16 000 об/мин  
а – исходная, б – модернизированная



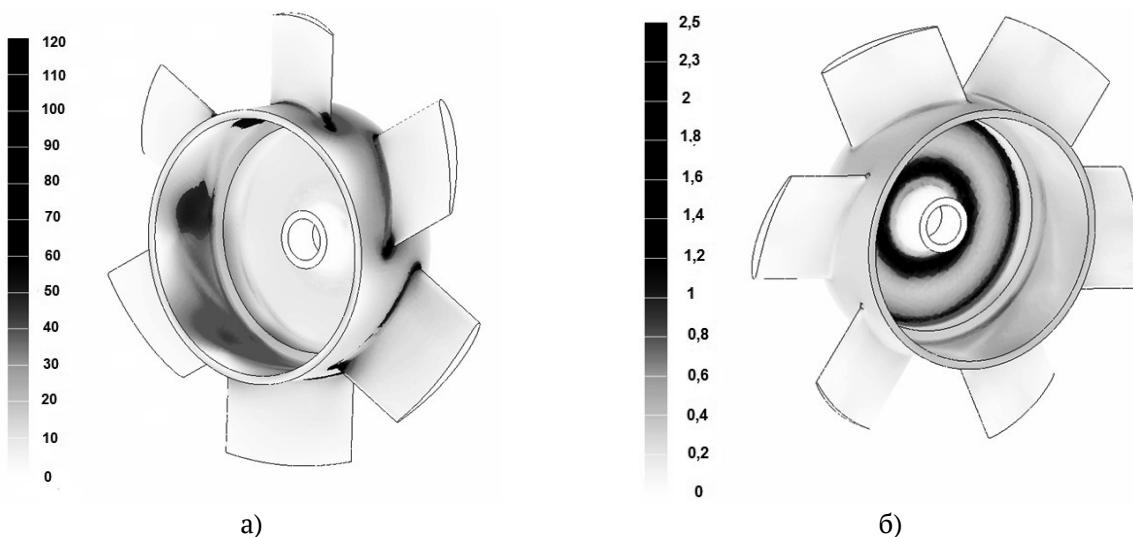
**Рис. 10.** Величины расходов воздуха в канале при работающих крыльчатках различного исполнения

## ВЫВОДЫ

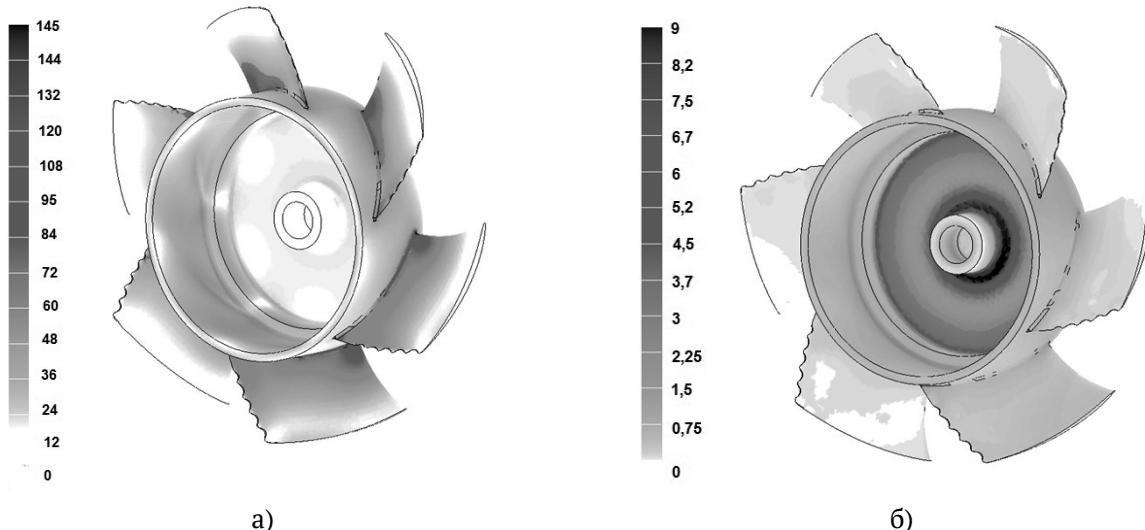
Анализ зависимостей, представленных на рис. 14, позволяет полагать, что применение крыльчатки модернизированного исполнения позволит существенно (на 24% при частоте вращения  $n = 6..10$  тыс. об/мин, и на 30..31% при частоте вращения  $n = 12..14$  тыс. об/мин) повысить

величину расхода  $Q$  воздуха в канале.

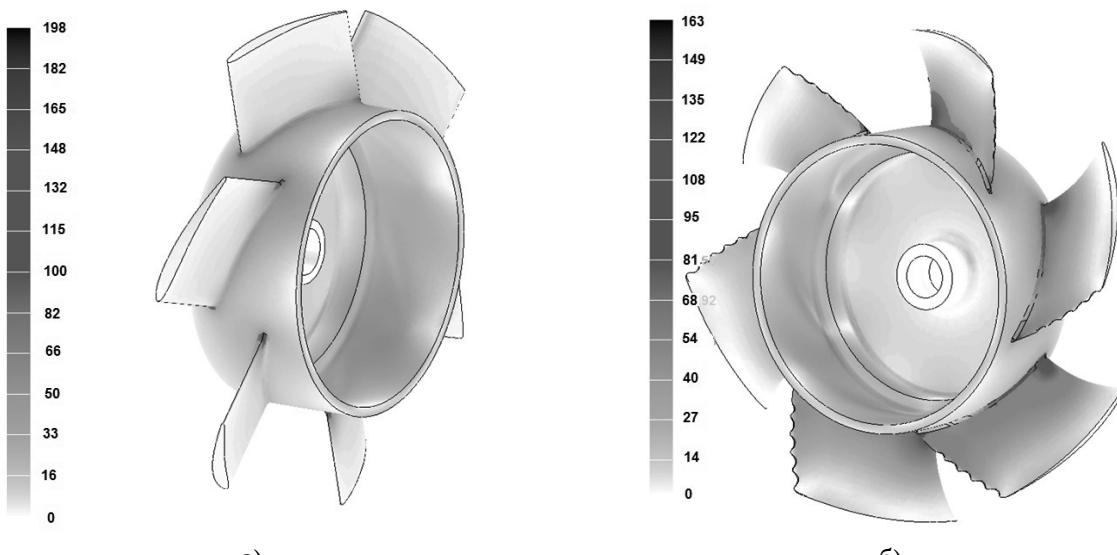
Вентилятор с модернизированной крыльчаткой позволяет существенно повысить перепад давлений на входе и выходе в канал, что и обусловило больший расход воздуха в канале. Повышение этой гидравлической характеристики обязано улучшением аэродинамических характеристик лопаток крыльчатки за счёт изменения



**Рис. 11.** Эквивалентные напряжения (МПа) возникающие в теле исходной крыльчатки от:  
а – центростремительного ускорения, б – воздушной нагрузки



**Рис. 12.** Эквивалентные напряжения (МПа) возникающие в теле модернизированной крыльчатки от:  
а – центростремительного ускорения, б – воздушной нагрузки



**Рис. 13.** Суммарные эквивалентные напряжения (МПа) возникающие в теле крыльчаток:  
а – исходная, б – модернизированная от центростремительного ускорения и воздушной нагрузки

их геометрических параметров: аэродинамической и геометрической круток, относительной кривизны профиля, деформации серединной поверхности лопастей, особой формы лопастей на виде в плане.

Таким образом, является целесообразным продолжение исследований влияния геометрических характеристик крыльчаток вентилятора с целью дальнейшего улучшения и оптимизации характеристик крыльчатки.

Исследование напряжённо-деформированного состояния показало, что напряжения в регулярной зоне тела крыльчатки не превышают 110..130 МПа при приложении к ней воздушной

нагрузки и инерционных нагрузок, вызванных центростремительным ускорением от вращения с частотой 16 000 об/мин. Однако в этом случае в зонах стыка лопаток со ступицей в районе передних и задних кромок эквивалентные напряжения составили 190 .. 201 МПа, что практически равно принятому пределу прочности. В силу этого необходимо в дальнейшем провести исследование на более точных математических моделях, которые бы позволили точнее оценить предел прочности пакета (в принятой модели реальный предел прочности был занижен). В противном случае возникает необходимость усиления зон соединения лопаток со ступицей.

## **MODERNIZATION OF FAN IMPELLER IN ORDER TO INCREASE ITS EFFICIENCY**

© 2015 E.I. Kurkin, O.E. Lukyanov, M.A. Horobrih

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov  
(National Research University)

The paper solves the problem of numerical modeling of the interaction of air and solid body. We investigate the aerodynamic characteristics of various design fan impellers installed in the air duct as well as an assessment of stress-strain state of the fan impeller during its operation. Feature comparison of the original and upgraded versions of the fan impeller has shown that an upgraded fan impeller provides increased air flow by 24 - 30% at the same fan speed. The most dangerous from the viewpoint of the strength of the impeller are inertial loads on the fan, causing stress concentrations in the areas of junction of the blades to the hub in the area of the front and rear edges.

*Keywords:* fan, impeller, simulation, air, flow rate, load, stress-strain state, characteristics.

---

*Evgeniy Kurkin, Candidate of Technics, Associate Professor  
at the Aircraft Construction and Design Department.*

*E-mail: eugene.kurkin@mail.ru*

*Oleg Lukyanov, Master Degree Student.*

*E-mail: lukyanovoe@mail.ru*

*Mikhail Khorobrikh, Student of Aviation Equipment Institute.*

*E-mail: horobryhmikhail@gmail.com*