электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 621.438

Автоматизированное проектирование проточной части рабочего колеса радиальной турбины в программном комплексе CATIA

 # 05, май 2012

Киселёв Н.А.

Студент,
кафедра «Газотурбинные и нетрадиционные энергоустановки»

Научный руководитель: Бурцев С.А.,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Газотурбинные и нетрадиционные энергоустановки»

МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru

Работа посвящена трехмерному моделированию проточной части рабочего колеса (РК) радиальной (центростремительной) турбины. Известно, что данный класс изделий является сугубо 3-мерным (3D) и разработка его плоского сечения с последующим получением осесимметричной модели практически невозможна. Особенности проектирования рабочего колеса состоят в том, что профилирование осуществляется одновременно в разных направления (по форме меридионального обвода, по длине лопатки, по высоте лопатки) и по разным зависимостям.

Реализованная методика автоматизированного проектирования позволяет получать 3D модель РК, проточная часть которого спрофилирована по полученным из газодинамического расчета геометрическим данным (входным для данной методики профилирования) и набору параметров, задаваемых конструктором в процессе проектирования.

Исходными данными для профилирования рабочего колеса центростремительной турбины согласно методике, изложенной в работе [1], являются входные и выходные диаметры и длины лопаток, угол выхода потока из соплового аппарата и угол установки лопатки на выходе из РК на заданном выходном диаметре. Предложенная методика автоматизированного проектирования проточной части РК позволяет, варьируя входные (полученные из предварительного расчета по методике, приведенной, например, в работе [2]) и вводимые при профилировании параметры, получать модель, наиболее полно удовлетворяющую всем требованиям, актуальным для радиальных колес.

Методика построения меридионального обвода позволяет учесть требования, обеспечивающие благоприятное распределение скоростей потока (основные требования: обводы должны быть непрерывны по кривизне, кривизна обвода должна быть минимальной и на входе и выходе равна нулю).

Построив внешнюю границу меридионального обвода, внутренняя граница строится таким образом, чтобы обеспечить требуемый закон изменения площадей (этот закон выбирается конструктором и указывается при создании 3D модели). При обновлении модели происходит пересчет диаметров вписанных в канал окружностей (рис. 1). Количество точек расчета (вписанных в канал окружностей) можно задавать в рамках

автоматизированной методики, но при выборе уровня детализации построения нужно учитывать требования, предъявляемые к машинным ресурсам, так как при недостаточной вычислительной мощности процесс обновления модели занимает десятки секунд.

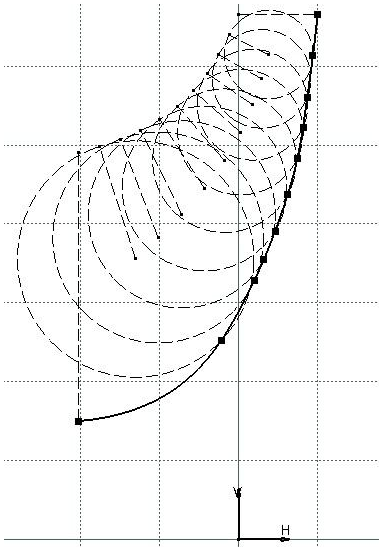


Рис. 1. Построение меридионального обвода РК

При профилировании рабочей лопатки в начале создается срединная поверхность, размеры которой получаются из газодинамического расчета (приведенного, например, в работе [2]), а затем поверхности корыта и спинки, получаемые смещением срединной в цилиндрических сечениях.

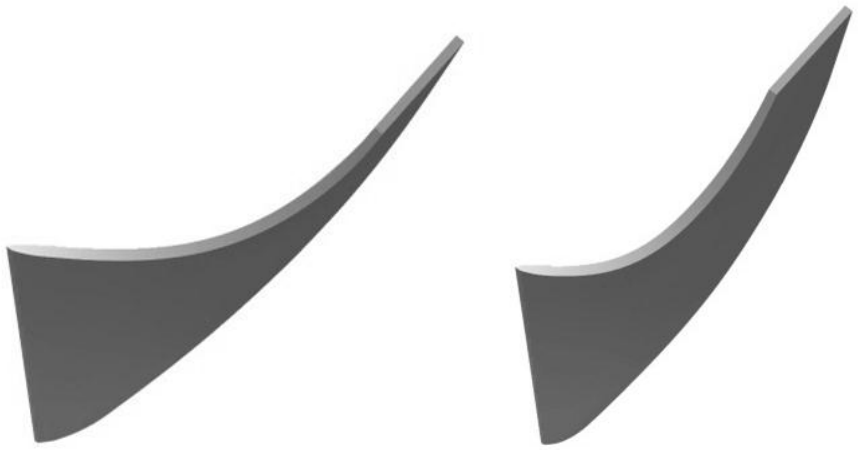
При построении и профилировании срединной поверхности рабочих лопаток конструктор должен задаться определенным законом профилирования по высоте (основываясь на методике, изложенной в работе [1], законом профилирования является распределение угла выхода потока из РК по высоте выходного сечения). Учитывая требования непрерывности по кривизне и некоторые дополнительные производственные требования, строится (по трем сечениям) срединная поверхность лопатки (рис. 2).



Рис. 2. Срединная поверхность лопатки РК

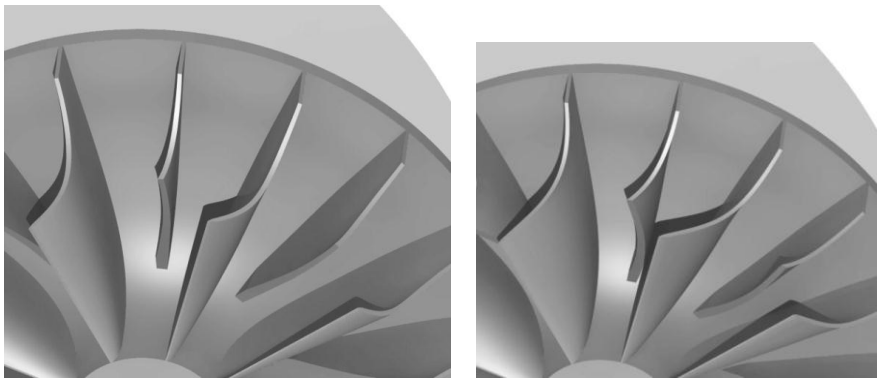
Для построения срединной поверхности используется так же зависимость, что и при построении внешнего обвода. Такой подход к профилированию позволяет создавать

поверхности с линейным участком, длина которого определяется конструктором из технологических соображений (увеличение линейной части поверхности уменьшает «перекрытие» лопаток и упрощает процесс обработки промежуточных лопаток - рис. 3, 4).



(а) (б)

Рис. 3. Исходная лопатка с относительной длиной линейной части 10 % от полной осевой протяженности (а) и лопатка с увеличенным до 50 % линейным участком (б)



(а) (б)

Рис. 4. Пример влияния длины линейной части на форму промежуточной лопатки: а – относительная длина линейной части – 50 % , б – 10 %

В данной методике длина линейной части задается в каждом сечении в долях от полной осевой протяженности сечения. Так же в процессе построения модели обеспечивается радиальность лопаток на входе в рабочее колесо, что важно при учете требований прочности. Стоит отметить, что радиальный вход в РК обеспечивает минимальные газодинамические потери, связанные с входом потока.

Процесс построения профилей спинки и корыта и придания профилю лопатки определенной толщины заключается в следующем:

- Задается закон изменения угла конусности лопаток как функция расстояния в осевом направлении от выхода из рабочего колеса (рис. 5).
- Задается угол конусности у основания лопатки (это значение уточняется после проведения расчета на прочность).
- Задается линия, вдоль которой толщина лопатки постоянна (рис. 6).

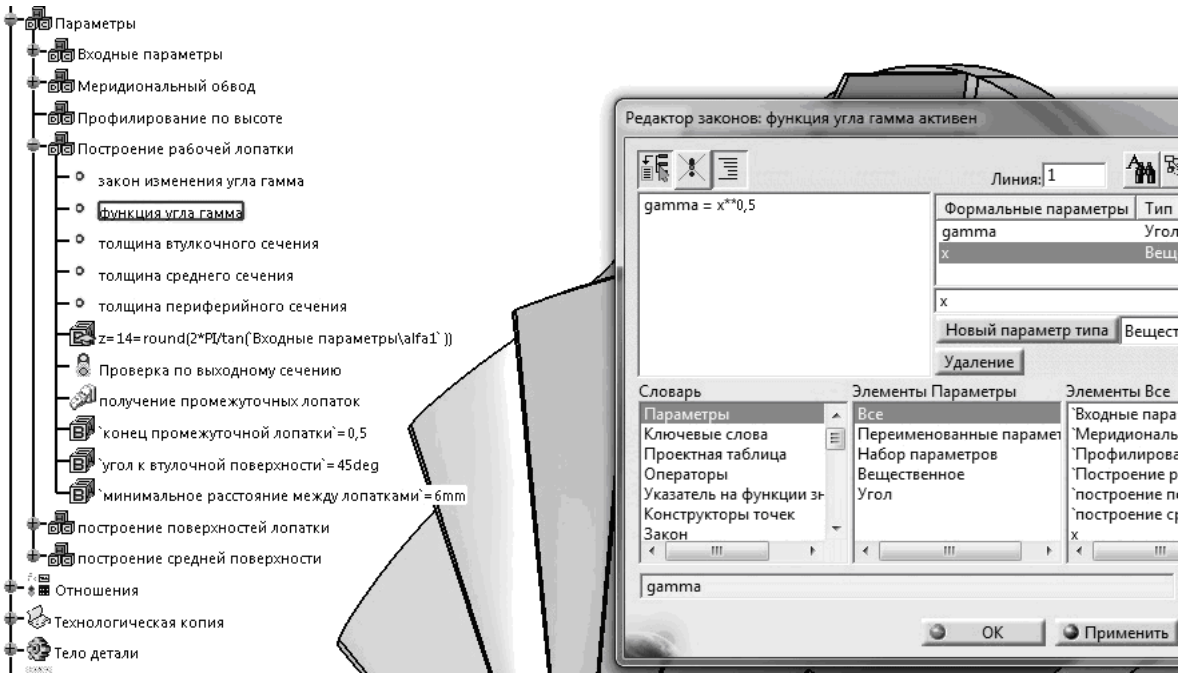


Рис. 5. Пример задания закона изменения угла конусности

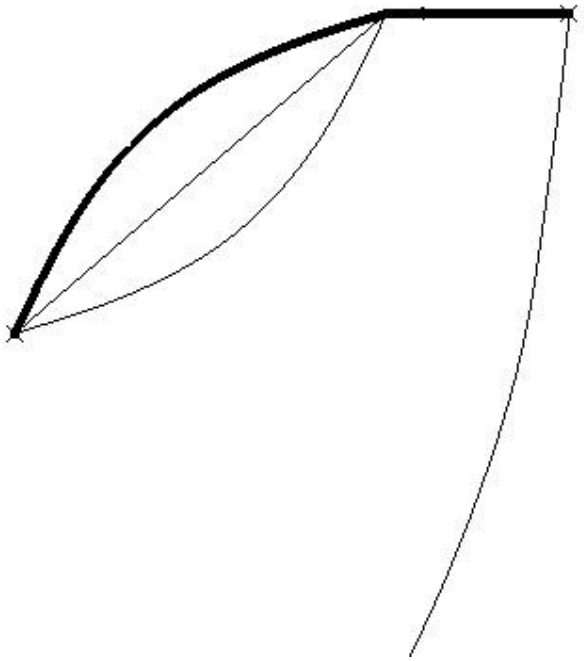


Рис. 6. Линия постоянной толщины

Задав эти примитивы, форма и толщина лопаток, построенных по данной автоматизированной методике, могут быть определены в каждой точке.

Сечения корыта и спинки строятся смещением сечений срединной поверхности в цилиндрических сечениях на толщину, определенную из законов изменения угла конусности в сечении и расстояния от линии постоянной толщины до цилиндрического сечения (рис. 7, 8, 9). Во входном цилиндрическом сечении рабочего колеса профили спинки и корыта получаются аналогично.

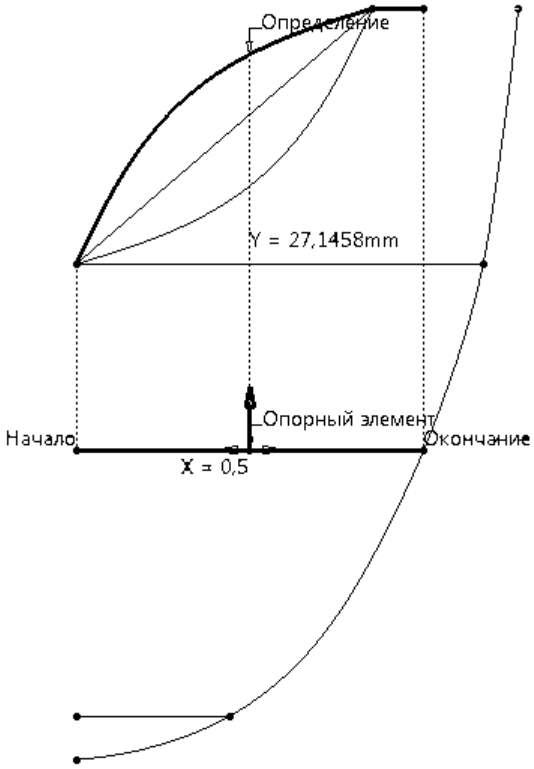


Рис. 7. Пример определения расстояния от линии постоянной толщины до сечения

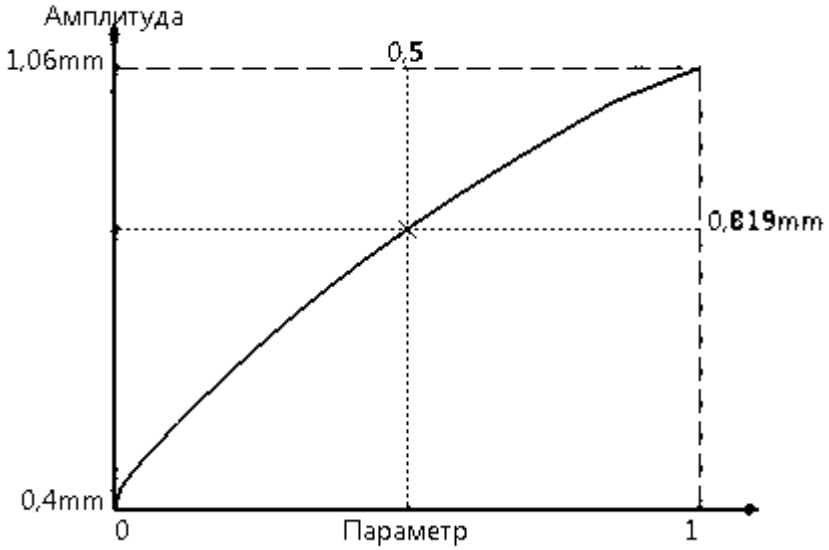


Рис. 8. Закон смещения профиля спинки относительно срединной поверхности

Таким образом, после выполнения операций смещения и сглаживания по кривизне, созданы кривые, являющиеся развертками цилиндрических сечений спинки и корыта (рис. 9). По полученным сечениям корыта и спинки в выходном и входном сечениях, строятся профильные поверхности лопатки. Полученный результат представлен на рис. 10.

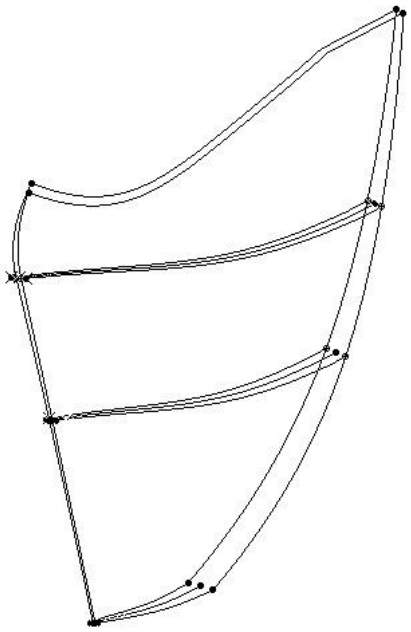


Рис. 9. Профили рабочей лопатки в цилиндрических сечениях

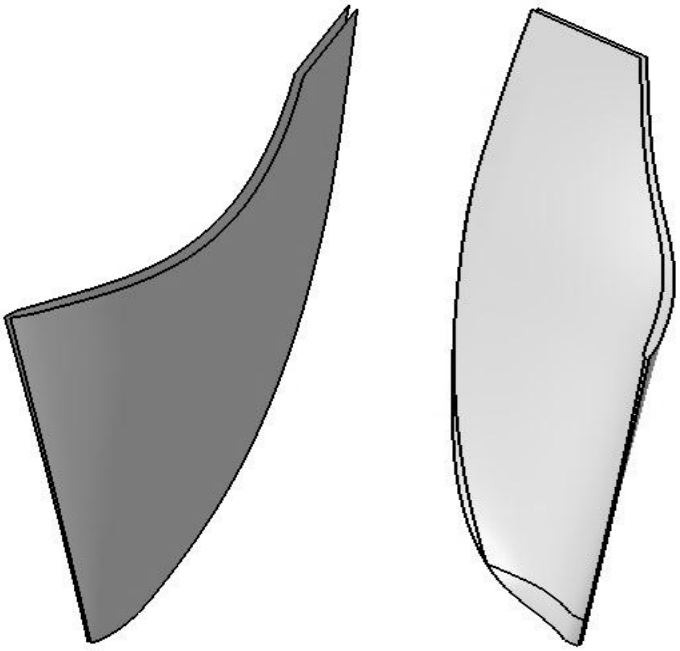
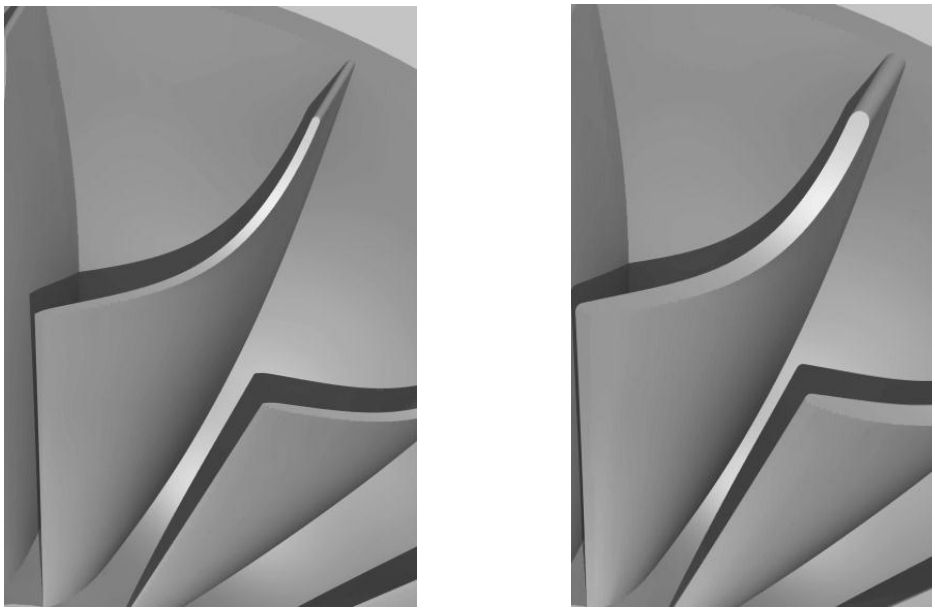


Рис. 10. Поверхности спинки и корыта лопатки

Учитывая, что при профилировании лопатки минимальная толщина и угол конусности являются входными данными, задаваемыми конструктором, их можно изменять (уточнять) при изменении геометрии. Результаты изменения внешнего вида представлены на рис. 11.



(а) (б)

Рис. 11. Лопатка с исходной (а) и измененной (б) толщиной и разными углами конусности:
а - 0,8 мм и 1,25°; б - 2мм и 1 °

Далее выполняется скругление входных и выходных кромок, а так же скругление места пересечения корневой части лопаток и диска (см. рис. 12).

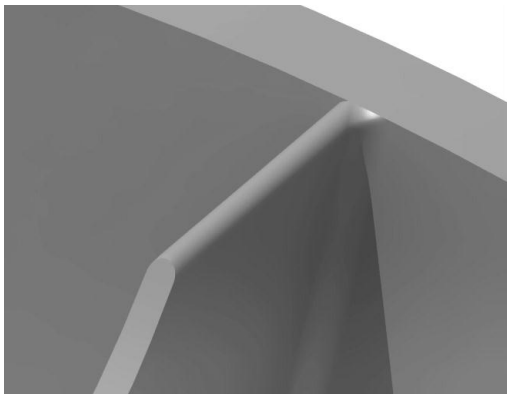


Рис. 12. Пример скругления входной кромки рабочей лопатки

После построения рабочей лопатки и меридионального обвода проточной части необходимо определить число лопаток, необходимое для получения оптимального обтекания решетки полученных профилей.

Общее число лопаток определяется из условия безотрывности течения на входе в рабочее колесо согласно рекомендациям, изложенным в [3]. Число полных лопаток (вдвое меньшее или равное общему) определяется конструктором из технологических и газодинамических критериев. С точки зрения газовой динамики при профилировании проточной части необходимо обеспечить оптимальный относительный шаг решетки, определяемый отношением шага решетки к длине лопатки. Так как шаг решетки зависит от радиуса, на котором он рассчитан и от числа лопаток, то для его увеличения (т.е. для улучшения условий обтекания лопаток) на выходе из колеса необходимо уменьшить число лопаток.

При этом сильное уменьшение числа рабочих лопаток может привести к тому, что располагаемый теплоперепад не будет сработан данным рабочим колесом.

Технологические требования заключаются в том, что при обработке лопаток в выходном сечении необходимо обеспечить возможность прохода фрезы во втулочном сечении, то есть технологичность определяется втулочным сечением на выходе из межлопаточного канала.

Так как при учете обоих условий необходимо уменьшать число лопаток на выходе (при сохранении или даже увеличении количества лопаток на входе), то деление числа полных лопаток производится следующим образом:

- если общее число лопаток – четное, то обрезается каждая вторая лопатка;
- если общее число лопаток – нечетное, то это число увеличивается на 1 и каждая вторая из полученных лопаток обрезается.

Если указанные требования выполняются и без обрезки, то она не производится (рис. 13).

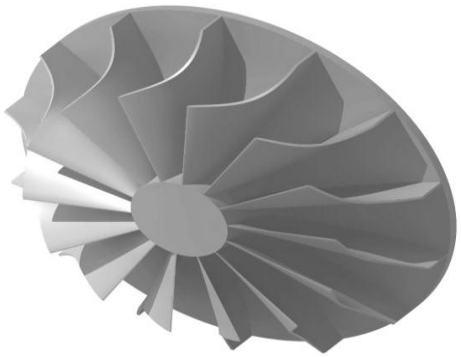
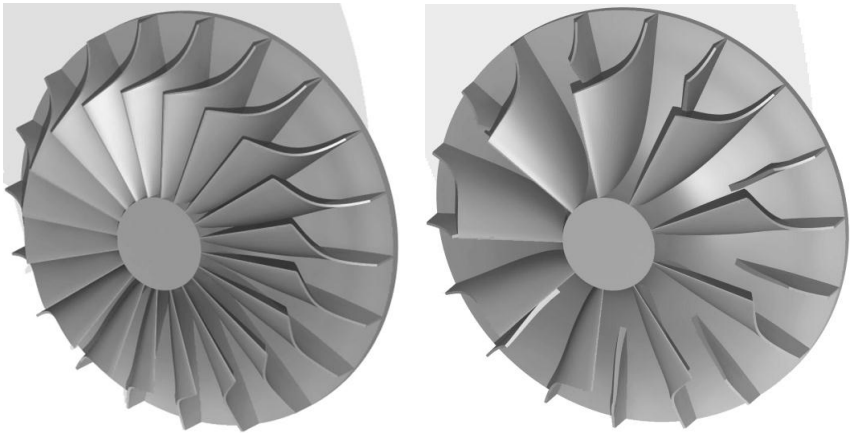


Рис. 13. Модель РК без обрезки лопаток

Если получившееся в результате расчета число лопаток в выходном сечении неудовлетворительно (см. рис. 14,а), то промежуточные лопатки обрезаются (см. рис. 14,б).

При обрезке лопаток секущая поверхность образована прямой, строящейся под заданным угол к втулочному обводу в точке, определенной конструктором. В зависимости от положения секущей меняется геометрия рабочего колеса (см. рис. 15).



(а) (б)

Рис. 14. Модели РК с увеличенным числом лопаток: а – без обрезки промежуточных лопаток, б – с обрезкой

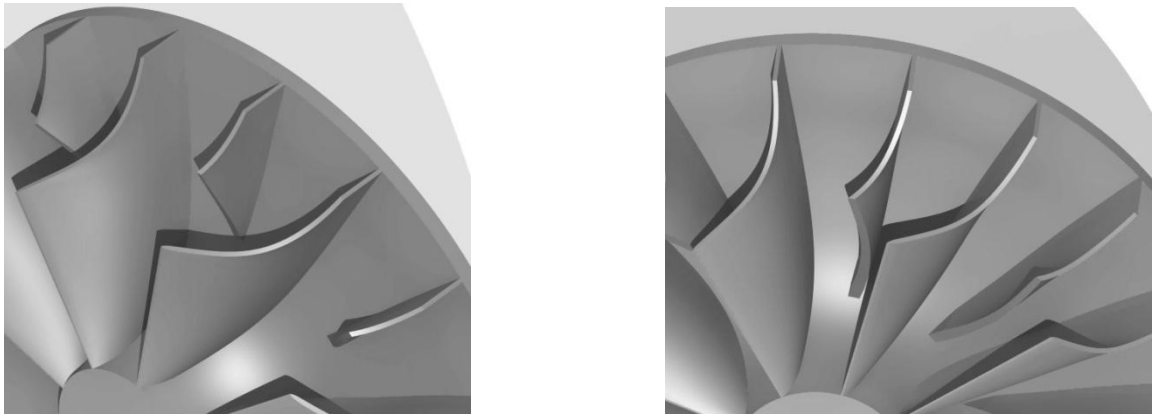


Рис. 15. Пример изменения положения секущей поверхности

При невыполнении требований по количеству лопаток появляется информационное окно, указывающее об изменениях в модели (рис. 16).

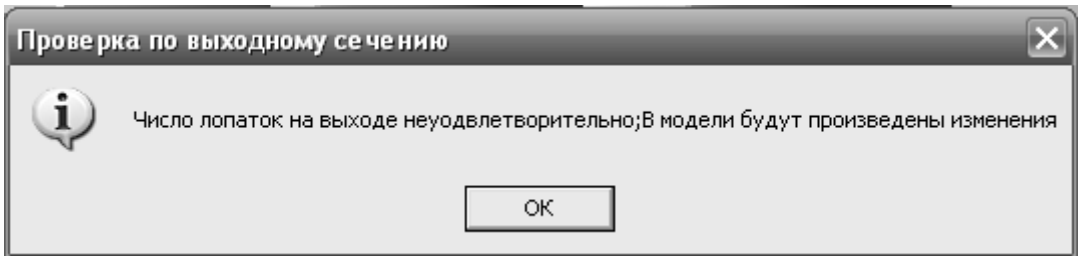


Рис. 16. Информационное окно проверки

Полученная в результате профилирования по данной методике автоматизированного проектирования модель является проточной частью РК радиальной турбины (рис. 17). Конструктивные элементы РК, отвечающие за центрирование, передачу крутящего момента и создание единой конструкции – радиальной (центростремительной) турбины в данной методике не рассматриваются.

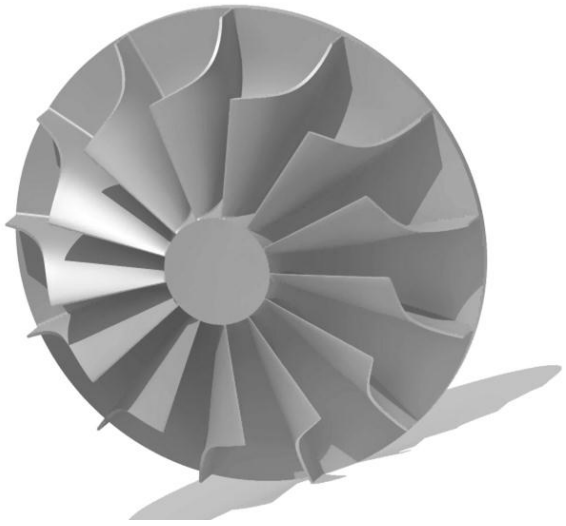


Рис. 17. Построенная по данной методике модель проточной части РК

После выбора оптимальной модели проточной части РК (по представленной методике), производится дальнейшее проектирование конструкции радиальной (центростремительной) турбины, которое может быть выполнено как в данном программном комплексе, так и в любых других (куда при необходимости модель может быть импортирована).

Кроме того, программный комплекс CATIA V5 после выполнения конструкторской проработки позволяет проводить различные расчеты (оценку массы, различных геометрических и динамических характеристик, прочности и т.д.) и создавать технологию изготовления диска РК. При необходимости более детального изучения модели в современных пакетах инженерного анализа возможно экспортировании модели в сторонние CAE-пакеты, что позволяет проводить любые дальнейшие исследования.

Литература

1. А.Н. Шерстюк, А.Е. Зарянкин, Радиально-осевые турбины малой мощности, М., Машиностроение, 1976, 208 с.
2. Михальцев В.Е. Моляков В.Д., Теория и проектирование газовой турбины: Учебное пособие по курсу «Лопаточные машины газотурбинных и комбинированных установок. Газовые турбины». – Ч.2 / М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 116 с.
3. В.Т. Митрохин, Выбор параметров и расчет центростремительной турбины, изд. Машиностроение, Москва, 1966, 200 с.