

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ТУРБИННОГО КОЛЕСА С ИЗОГНУТЫМИ ЛОПАСТЯМИ

Мугинов А.М., Мугинова А.И.

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация*

Научный руководитель: Зинуров В.Э. – к.т.н., и.о. заведующего кафедры ИГ

Аннотация. В статье представлена методика параметрического проектирования цифровой модели турбинного колеса с изогнутыми лопастями в системе «КОМПАС-3D». Геометрия модели задаётся системой взаимосвязанных параметров, используемых при построении эскизов и операциях твердотельного моделирования. Получена параметрическая 3D-модель турбинного колеса, позволяющая изменять геометрические характеристики конструкции путём корректировки параметров.

Ключевые слова: параметрическая модель, турбинное колесо, изогнутые лопасти, САПР КОМПАС-3D, цифровое проектирование

Введение. Развитие цифровых технологий инженерного моделирования и автоматизированного проектирования усиливает роль параметрических методов при создании геометрически сложных элементов энергетических машин [1]. В энергетическом машиностроении значительное место занимают турбинные колеса с изогнутыми лопастями, форма которых определяется совокупностью взаимосвязанных геометрических параметров и требует точного воспроизводства в цифровой среде [2]. Геометрия таких элементов характеризуется пространственной кривизной профилей, изменением углов установки и параметров распределения сечений вдоль радиуса, что усложняет процесс их формализованного описания в средах автоматизированного проектирования. При создании цифровых моделей подобных объектов необходимо учитывать взаимозависимость параметров профиля лопатки, геометрии ступицы и обода колеса, а также условия их сопряжения в единой конструктивной структуре. Это обуславливает необходимость использования параметрического подхода, позволяющего задавать геометрию через систему управляемых параметров и зависимостей. При этом для образовательных задач сохраняется дефицит методически структурированных подходов к построению параметрических моделей таких объектов [3]. В связи с этим целью исследования является разработка методики проектирования параметрической цифровой модели турбинного колеса с изогнутыми лопастями для учебных задач.

В данной статье автором описана методика построения параметрической 3D-модели турбинного колеса в системе автоматизированного проектирования. Представленная методика ориентирована на последовательное формирование геометрии основных конструктивных элементов колеса на основе заданного набора параметров. Реализация предложенного подхода обеспечивает возможность изменения геометрических характеристик модели без перестроения всей структуры построений. Это позволяет использовать разработанную модель в учебном процессе при освоении методов параметрического моделирования сложных машиностроительных объектов.

Основная часть. В ходе работы применялось специализированное программное обеспечение (ПО) «КОМПАС-3D», широко используемое для решения технических и научно-практических задач [4, 5]. Данная система автоматизированного проектирования предназначена для разработки трехмерных геометрических моделей изделий и подготовки конструкторской документации. Использование CAD-средств позволяет выполнять геометрическое моделирование и визуализацию объектов различной сложности, что расширяет возможности инженерного анализа. В образовательной практике программный комплекс применяется при изучении графических дисциплин и формировании навыков работы с цифровыми средствами проектирования [4]. Функциональные возможности системы включают инструменты построения трехмерных моделей, выполнения расчетов и подготовки проектной документации [5]. Применение данного программного комплекса способствует повышению точности моделирования и ускоряет процесс разработки инженерных решений.

Для проектирования цифровой модели турбинного колеса применялся метод параметрического моделирования, реализуемый в системе автоматизированного проектирования «КОМПАС-3D». Параметрическое моделирование основано на описании геометрии изделия через систему числовых параметров, определяющих размеры и взаимное расположение элементов конструкции. При построении параметрической модели значения размеров задаются не фиксированными числовыми величинами, а переменными. Эти переменные используются как при определении размеров геометрических элементов эскизов, так и при задании параметров операций твердотельного моделирования. В результате параметры эскизов и параметры операций формируют единую систему взаимосвязанных переменных, которая определяет геометрию модели и позволяет изменять её путем корректировки значений соответствующих параметров. В среде «КОМПАС-3D» все введенные переменные отображаются в отдельном окне параметров (рисунок 1), предназначенном для управления параметрической структурой модели. В данном окне пользователь может создавать новые переменные, задавать их числовые значения и использовать их при определении размеров эскизов и параметров операций моделирования. Кроме того, между переменными могут задаваться зависимости с использованием математических выражений. Это позволяет формализовать взаимосвязь геометрических характеристик модели и обеспечить согласованное изменение параметров при модификации конструкции.

	Имя	Выражение	Значение	Параметр	Комментарий
▼ Турбинное колесо (Тел-1)					
	d	20	20		
	D	28	28		
i	h	D	28		
i	z	a/360	0.125		
	s	2.5	2.5		
	l	21	21		
	a	45	45		
	n	8	8		

Рисунок 1 – Окно параметров в ПО «КОМПАС-3D»

На первом этапе сформирован эскиз диска, определяющий базовую геометрию колеса. Основными параметрами данного элемента являются внешний диаметр D и диаметр посадочного отверстия под вал d . По построенному эскизу выполнена операция твердотельного выдавливания, в результате которой сформирован венец турбинного колеса. Ширина венца h задавалась параметрически и определялась согласно формуле 1.

$$h = D. \quad (1)$$

На втором этапе построен эскиз поперечного сечения лопасти с параметрами длины l и ширины s . Для задания пространственной формы лопасти сформирована траектория изгиба с использованием инструмента «спираль цилиндрическая». При её построении задавались ширина венца h и число витков z , определяющее степень закрутки лопасти. Значение параметра z связано с углом изгиба лопасти a и рассчитывалось по упрощённой зависимости 2:

$$z = \frac{a}{360} \quad (2)$$

На основе сформированного эскиза и заданной траектории выполнена операция построения элемента по траектории. После формирования одной лопасти остальные элементы получены с использованием инструмента «массив по концентрической сетке», в котором задавалось количество лопастей n . В результате сформирована параметрическая трёхмерная модель турбинного колеса (рисунок 2).

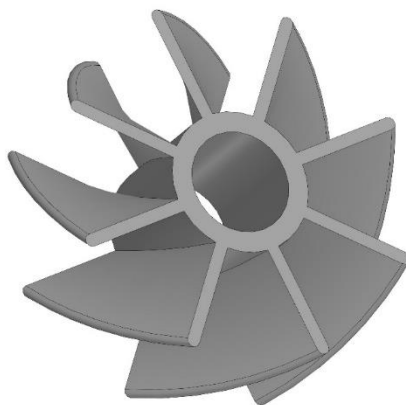


Рисунок 2 – Параметрическая 3D-модель турбинного колеса при $d=20$ мм, $D=28$ мм, $\alpha=45^\circ$, $s=2,5$

Заключение. Таким образом, разработана методика параметрического проектирования цифровой модели турбинного колеса с изогнутыми лопастями в среде САПР «КОМПАС-3D», основанная на использовании системы взаимосвязанных переменных, применяемых при построении эскизов и операциях твердотельного моделирования. Параметрическая структура модели формируется на основе ключевых геометрических параметров конструкции, включая внешний диаметр колеса D , диаметр посадочного отверстия d , ширину венца h , а также параметры лопасти l , s , угол изгиба α и число витков траектории z . Полученная параметрическая модель обеспечивает возможность изменения геометрических характеристик турбинного колеса путем корректировки параметров без перестроения структуры построений. Разработанный подход может применяться в учебном процессе при изучении методов параметрического моделирования сложных машиностроительных объектов и освоении инструментов цифрового проектирования. Исследование выполнено в рамках гранта Академии Наук Республики Татарстан на поддержку программ развития передовых инженерных школ республиканского значения «ТурбоПИШ», соглашение 1РПИШ от 19.12.2025 г.

Список литературы

1. Parametric design and multiple objective intelligent optimization of marine nuclear turbine aerothermodynamics under variable conditions / L. Zhang, G. Chen, Yu. A. Shi, L. Xie // *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15, No 1. P. 24813. DOI: 10.1038/s41598-025-04520-4.
2. Ferhatoglu E., Botto D., Zucca S. Parametric study for model calibration of a friction-damped turbine blade with multiple test data // *Nonlinear Dynamics*. 2024. Vol. 112, No 10. P. 7847–7873. DOI: 10.1007/s11071-024-09396-z.
3. Хоанг К. К. Метод построения обучающего курса САПР // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2022. Т. 49, № 2. С. 76–86. DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-2-76-86.
4. Агапов М. Е., Мусиенко О. А., Ширлина И. И. Компьютерное моделирование в изучении геометро-графических дисциплин // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура»*. 2024. Т. 24, № 1. С. 70–77. DOI: 10.14529/build240109.
5. Важдиев К. В., Мартяшева В. А., Аллабердин А. Б. и др. Использование отечественных программных продуктов 3D моделирования при проектировании инженерных сетей // *Строительство и техногенная безопасность*. 2024. № 34(86). С. 51–58.

UDC 658.512.2:621.438

PARAMETRIC DESIGN OF A DIGITAL MODEL OF A TURBINE WHEEL WITH CURVED BLADES

Muginov A.M., Muginova A.I.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

Zinurov V.E. – Cand. of Sci., Acting Head of the Department of EG

Annotation. The article presents a method of parametric design of a digital model of a turbine wheel with curved blades in the COMPASS-3D system. The geometry of the model is defined by a system of interrelated parameters used in the construction of sketches and solid modeling operations. A parametric 3D model of a turbine wheel has been obtained, which allows for the modification of the geometric characteristics of the structure by adjusting the parameters.

Keywords: parametric model, turbine wheel, curved blades, CAD COMPASS-3D, digital design