

## Рецензия

на электронную лекцию «Компьютерное конструирование и анализ распределения давления на поверхность лопасти рабочего колеса радиальной турбины» для дополнительного изучения отдельных тем учебной дисциплины «Гидравлические и пневматические системы» преподавателя специальных дисциплин **Чемезова Д.А.**

Электронная лекция «Компьютерное конструирование и анализ распределения давления на поверхность лопасти рабочего колеса радиальной турбины» для дополнительного изучения отдельных тем учебной дисциплины «Гидравлические и пневматические системы» предназначена для использования в среднем профессиональном образовании по специальности 151901 «Технология машиностроения». Лекция представляет собой материалы научно-исследовательского характера полностью соответствующие ФГОС по специальности.

Лекция содержит следующие разделы: введение, материалы и методы исследования, результаты и их обсуждение, заключение, библиографический список и вопросы для самостоятельного контроля изученного материала.

Каждый раздел лекции сопровождается понятной для студентов информацией, в которой описывается актуальность проводимого исследования, последовательность выполнения экспериментов, даются рекомендации по возможному использованию полученных результатов на практике.

Представленные лекции позволяют организовать индивидуальную и групповую научно-исследовательскую работу в различных условиях обучения: дифференцированного, интегрированного, самостоятельного и могут использоваться для подведения промежуточных тематических итогов.

Электронная лекция полностью адаптирована к производственному процессу.

Приведенные в лекции задачи могут быть практически выполнены с помощью компьютерных программ трехмерного моделирования и инженерного анализа КОМПАС 3D, SolidWorks, Ansys Workbench.

Электронные лекции рекомендованы для распространения и внедрения передового опыта на территории РФ по специальности 151901 «Технология машиностроения».

Рецензент

«11»

марта 2016 г.



*Чуванов* (Технический директор -  
начальник управления  
ОАО «Завод „Автоприбор“)

Согласовано

«11 декабря 2016 г.  
В. Р. Чувачев



УТВЕРЖДАЮ

Директор ГБПОУ ВО «ВИК»  
«11 декабря 2016 г.



**Электронные лекции для дополнительного изучения отдельных тем по учебной дисциплине «Гидравлические и пневматические системы»**

Тема: «Компьютерное конструирование и анализ распределения давления на поверхность лопасти рабочего колеса радиальной турбины»

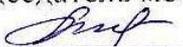
Для обучающихся специальности 151901 (Технология машиностроения)

Разработчик: Чемезов Д.А., преподаватель спец. дисциплин  
ГБПОУ ВО «Владимирский индустриальный колледж»

Электронные лекции для дополнительного изучения дисциплины «Гидравлические и пневматические системы» представляют собой материалы научно-исследовательского характера отдельных тем курса. Материалы предназначены для самостоятельного изучения студентами.

РАССМОТРЕНО:

Председатель метод. комиссии

 Т.Н.Комарова

«10» марта 2016 г.

## Лекция 1 (2 ч)

### Компьютерное конструирование и анализ распределения давления на поверхность лопасти рабочего колеса радиальной турбины

#### План

1. Введение
2. Материалы и методы исследования
3. Результаты и их обсуждение
4. Заключение

#### Библиографический список

1. Турбина [Электронный ресурс]  
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D2%F3%F0%E1%E8%ED%E0>
2. ANSYS BladeModeler [Электронный ресурс] <http://www.cae-expert.ru/product/ansys-blademodeler>
3. Углы установки лопасти [Электронный ресурс]  
<http://www.aviationsweb.ru/page-448.html>

#### 1. Введение

Гидравлическая турбина – лопаточная машина, приводится во вращение потоком жидкости для преобразования механической энергии потока жидкости в механическую энергию на валу. В зависимости от напора и мощности гидравлической установки, выбирают тип гидравлической турбины.

Радиально-осевые турбины считаются быстроходными. В этих турбинах, поток жидкости движется в двух направлениях:

а) радиальном – от периферии к центру вращающегося рабочего колеса турбины;

б) осевом – течение жидкости к выходу.

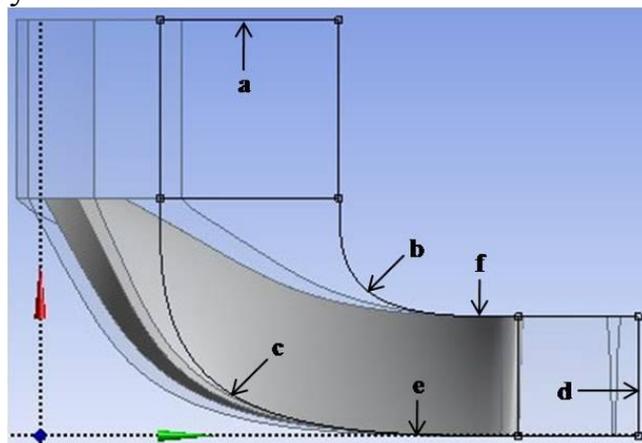
Радиальная турбина состоит из ротора и статора. Ротор – рабочее колесо, состоящее из ступицы, соединенной с валом турбины, комплекта лопастей (детали, имеющие сложные криволинейные поверхности по всей длине) и обода.

Конструирование гидравлической турбины методом объемного твердотельного моделирования, позволяет получить точную геометрию машины и в дальнейшем выполнять инженерные расчеты отдельных деталей или сборочного узла в САЕ-системах.

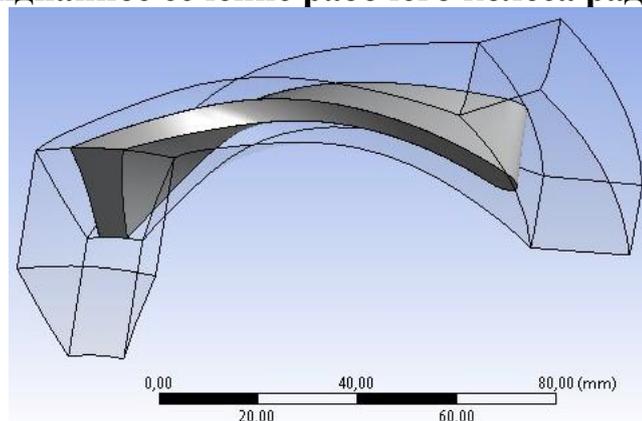
#### 2. Материалы и методы исследования

Модель рабочего колеса радиальной турбины строилась в интегрированной среде Ansys Workbench. Генерация геометрии рабочего колеса турбины со всеми элементами, на первом этапе моделирования выполнялась в модуле BladeGen. Были заданы следующие значения параметров: координаты (x и z), по которым производится расчет размеров и конфигурации лопастей и

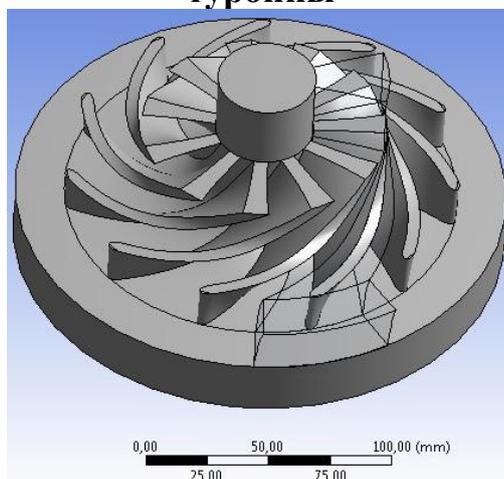
обода рабочего колеса турбины; размеры входной и выходной кромок лопасти; толщина лопасти; количество лопастей. В меридианном сечении (рис. 1) указаны элементы рабочего колеса радиальной турбины: а – входная зона; b – внешний обвод (ведомый); с – втулочная поверхность (ведущий обвод); d – выходная зона; e, f – линии тока. В диалоговом окне программы будут представлены следующие характеристики моделируемого рабочего колеса: шаг (в градусах) входной и выходной кромки лопасти; центр инерции Z, R, T, Mr, M; аэродинамическая поверхность (область) лопасти; длина биссектрисы угла, образованного сторонами лопасти в поперечном сечении; длина выпуклости лопасти; меридианная длина лопасти; угол установки лопасти; отношение длины хорды лопасти к шагу.



**Рисунок 1 – Меридианное сечение рабочего колеса радиальной турбины**



**Рисунок 2 – Трехмерная модель лопасти рабочего колеса радиальной турбины**

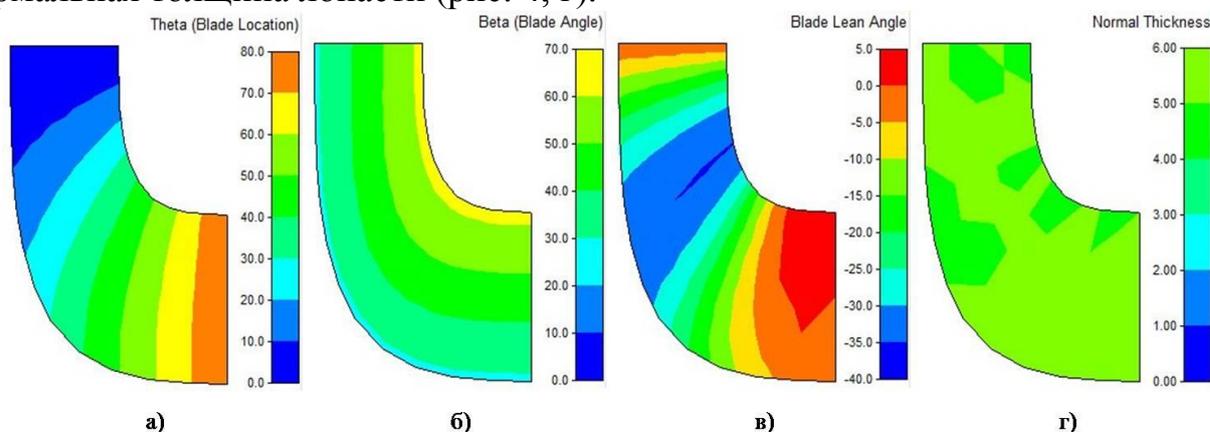


**Рисунок 3 – Трехмерная модель рабочего колеса радиальной турбины**

### 3. Результаты и их обсуждение

Все данные импортировались в модуль Transient Structural – DesignModeler, где были получены трехмерные модели лопасти (рис. 2) и рабочего колеса турбины (рис. 3) массой 8,217 кг, наружным диаметром 200 мм и шириной 95 мм.

Широкие функциональные возможности программы BladeGen позволяют анализировать геометрические характеристики рабочего колеса турбины. Меридианный контур может быть представлен в виде цветной гаммы, нанесенной на эскиз сечения смоделированного рабочего колеса радиальной турбины. Цвета дают качественную оценку величин параметров: Тета (Theta) – угол охвата лопасти в плане (рис. 4, а); Бета (Beta) – угол между хордой и плоскостью вращения лопасти (рис. 4, б); угол наклона лопасти (рис. 4, в); нормальная толщина лопасти (рис. 4, г).



**Рисунок 4 – Эпюры меридианных контуров**

Кривизна втулочной поверхности и внешнего обвода рабочего колеса (меридиан) радиальной турбины и кривизна лопасти рассчитывалась при обратном радиусе кривизны 0...0,1, входной кромке лопасти равной 0 и выходной кромке лопасти равной 1. Зависимости представлены в табл. 1 – 2.

Значения углов Тета и Бета входной и выходной кромок лопасти получены на промежутке от 0 до 1. Зависимости углов кромок лопасти рабочего колеса радиальной турбины представлены в табл. 3 – 4.

Отношение входной кромки к выходной кромке лопасти рассчитано при втулочной поверхности рабочего колеса равной 0 и внешнем обводе равном 1. Зависимости отношений представлены в табл. 5.

Величины угла наклона (меридиан 0 – 1) получены при постоянной и переменной длинах лопасти. Зависимости угла представлены в табл. 6.

В табл. 7. представлены значения площади (квазиортогональный параметр) рабочего колеса турбины, при входной кромке лопасти равной 0 и выходной кромке лопасти равной 1.

Характеристика аэродинамической поверхности лопасти рабочего колеса турбины на всей длине отображена в табл. 8.

Результаты расчета максимального сферического диаметра между двумя соседними лопастями, при входной кромке лопасти равной 0 и выходной кромке лопасти равной 1, представлены в табл. 9.

**Таблица 1**

**Значения кривизны втулочной поверхности и внешнего обвода рабочего колеса (меридиан) радиальной турбины**

Втулочная поверхность рабочего колеса						
Входная – выходная кромки	-0,2	0,22	0,5	0,78	0,92	1,2
Обратный радиус кривизны	0	0,005	0,027	0,023	0,003	0
Радиус, мм	103,2	62,87	36,5	20,8	20,0	20,0
Расстояние вдоль меридианной кривой, мм	-19,2	21,12	48,01	74,9	88,34	115,23
Внешний обвод рабочего колеса						
Входная – выходная кромки	-0,2	0,22	0,5	0,78	0,92	1,2
Обратный радиус кривизны	0	0,008	0,058	0,032	$1,57 \times 10^{-15}$	0
Радиус, мм	94,6	72,33	57,79	50,16	50,0	50,0
Расстояние вдоль меридианной кривой, мм	-10,6	11,66	26,5	41,35	48,77	63,61

**Таблица 2**

**Значения кривизны лопасти рабочего колеса радиальной турбины (средняя линия)**

Входная – выходная кромки	0	0,3	0,6	1,0
Обратный радиус кривизны	$5,84 \times 10^{-5}$	$2,8 \times 10^{-5}$	$2,81 \times 10^{-6}$	$-5,42 \times 10^{-6}$
Радиус, мм	80	54,21	29,9	20,0
Расстояние вдоль меридианной кривой, мм	0	25,8	51,61	86,02
Расстояние вдоль биссектрисы, мм	0	29,34	58,69	97,81

**Таблица 3**

**Значения угла  $Tema$  входной и выходной кромок лопасти рабочего колеса радиальной турбины**

Угол $Tema$ входной кромки лопасти					
Входная – выходная кромки	0	0,25	0,5	0,75	1,0
Угол $Tema$ , град.	0	0	0	0	0
Радиус, мм	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
Расстояние вдоль меридианной кривой, мм	0	0	0	0	0
Угол $Tema$ выходной кромки лопасти					
Входная – выходная кромки	0	0,25	0,5	0,75	1,0
Угол $Tema$ , град.	79,99	79,99	79,99	79,99	79,99
Радиус, мм	20,0	27,5	35,0	42,5	50,0
Расстояние вдоль меридианной кривой, мм	86,02	75,27	64,52	53,76	43,01

**Таблица 4**

**Значения угла  $Beta$  входной и выходной кромок лопасти рабочего колеса радиальной турбины**

Угол $Beta$ входной кромки лопасти					
Входная – выходная кромки	0	0,25	0,5	0,75	1,0
Угол $Beta$ , град.	28,424	36,529	45,129	53,942	62,57
Радиус, мм	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
Расстояние вдоль меридианной кривой, мм	0	0	0	0	0
Угол $Beta$ выходной кромки лопасти					
Входная – выходная кромки	0	0,25	0,5	0,75	1,0
Угол $Beta$ , град.	28,427	36,471	45,087	53,923	62,571
Радиус, мм	20,0	27,5	35,0	42,5	50,0
Расстояние вдоль меридианной кривой, мм	86,02	75,27	64,52	53,76	43,01

**Таблица 5**

**Отношение входной кромки к выходной кромке лопасти рабочего колеса радиальной турбины**

Входная кромка лопасти – эллипс с малым радиусом					
Втулочная поверхность – внешний обвод	0	0,25	0,5	0,75	1,0
Значение параметров	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Входная кромка лопасти – эллипс с большим радиусом					
Втулочная поверхность – внешний обвод	0	0,25	0,5	0,75	1,0
Значение параметров	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

**Таблица 6****Значения угла наклона лопасти рабочего колеса радиальной турбины**

Постоянная длина лопасти						
Втулочная поверхность – внешний обвод	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Угол наклона, град.	0	15,26	19,02	15,45	8,56	$6,52 \times 10^{-7}$
Радиус, мм	80,0	67,09	54,27	42,42	35,89	35,0
Расстояние вдоль меридианной кривой, мм	0	12,9	25,8	38,71	51,61	64,51
Переменная длина лопасти						
Втулочная поверхность – внешний обвод	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Угол наклона, град.	0,31	36,21	44,91	34,7	4,53	-0,45
Радиус, мм	80,0	67,33	55,51	44,96	35,82	35,0
Расстояние вдоль меридианной кривой, мм	-0,002	12,67	24,62	36,01	52,06	64,55

**Таблица 7****Значения площади (квазиортогональный параметр) рабочего колеса радиальной турбины**

Без учета лопастей						
Входная – выходная кромки	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Площадь, мм <sup>2</sup>	10053,1	9133,65	8723,99	7890,46	6907,28	6597,34
С учетом лопастей						
Входная – выходная кромки	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Площадь, мм <sup>2</sup>	8282,32	7235,84	6470,85	5278,51	4234,23	3924,89
Без учета лопастей, с углом потока жидкости (коррекция)						
Входная – выходная кромки	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Площадь, мм <sup>2</sup>	6848,33	6249,35	5875,5	5229,69	4579,44	4270,2
С учетом лопастей, с углом потока жидкости (коррекция)						
Входная – выходная кромки	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Площадь, мм <sup>2</sup>	5685,52	4989,55	4388,26	3508,71	2798,71	2526,02

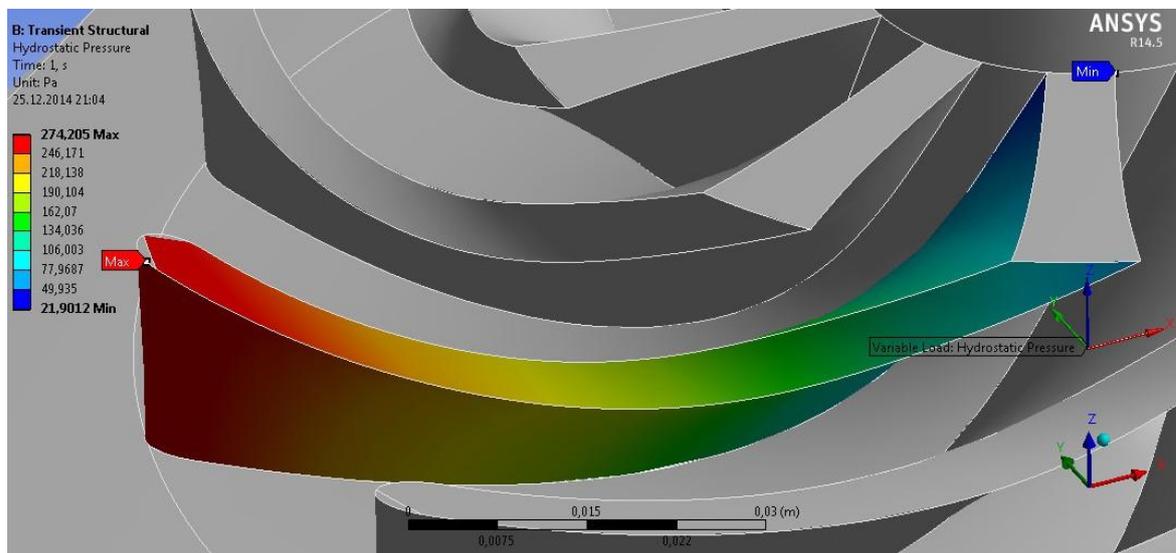
**Таблица 8****Значения площади аэродинамической поверхности лопасти рабочего колеса радиальной турбины**

Входная – выходная кромки	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Площадь, мм <sup>2</sup>	483,52	469,21	459,73	455,26	455,86	461,47

**Таблица 9****Значение максимального сферического диаметра между двумя соседними лопастями рабочего колеса радиальной турбины**

Входная – выходная кромки	0	0,201	0,398	0,594	0,798	1,0
Максимальный сферический диаметр, мм	20,0	20,25	22,13	27,21	30,54	30,0

На всей длине лопасти рабочего колеса будет действовать переменное давление, создаваемое движущейся в радиальном направлении жидкостью (для расчета принята вода). Для расчета величин давления приняты: плотность воды ( $1000 \text{ кг/м}^3$ ), температура воды ( $22^\circ\text{C}$ ) и векторная величина – гидростатическое ускорение ( $3,5 \text{ м/с}^2$ ). Численные значения результатов моделирования представлены цветовой гаммой на поверхности трехмерной модели лопасти (рис. 5).



**Рисунок 5 – Распределение давления (Па) на поверхности лопасти рабочего колеса радиальной турбины**

Отмечено, что наибольшее давление возникает на входной кромке лопасти рабочего колеса, а наименьшее – на выходной. При этом величина давления изменяется более чем в десять раз.

#### 4. Заключение

Интегрированный модуль BladeGen в среде Ansys – это построение объемных твердотельных моделей и детальный анализ геометрии элементов турбин различных конфигураций на этапе проектирования реальной лопастной машины. Комплексные инженерные расчеты и анализ результатов выполняются путем разбиения объемной модели рабочего колеса на заданное количество узлов/элементов (Mesh) с последующей передачей данных в модули Autodyn, CFX, Finite Element Modeler, Fluent, ICEM CFD, Mechanical APDL и Polyflow.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Устройство радиальной турбины?
2. На модели лопасти турбины укажите углы тета и бета?
3. Как влияет угол наклона лопасти на производительность турбины?
4. Как распределяется давление на рабочей поверхности лопасти колеса турбины?
5. Что такое гидростатическое давление?