

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Кафедра «ракетных двигателей»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к курсовому проекту по дисциплине
«Конструирование турбонасосных агрегатов
жидкостных ракетных двигателей»
для студентов специальности 24.05.02 «Проектирование
авиационных и ракетных двигателей»
очной формы обучения



Воронеж 2016

Составитель д-р техн. наук А.В. Иванов

УДК 621.453/.457

Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Конструирование турбонасосных агрегатов жидкостных ракетных двигателей» для студентов специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.В. Иванов. Воронеж, 2016. 16 с.

В методических указаниях содержится описание задания на выполнение курсового проекта, приведены варианты задания на курсовой проект.

Предназначены для студентов пятого курса.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2010 и содержатся в файле ТНА_КР.docx.

Табл. 2. Ил. 2. Библиогр.: 4 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Ю.В. Демьяненко

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. В.С. Рачук

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический
университет», 2016

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Исходными данными для проектирования являются основные геометрические размеры крыльчатки и шнека насоса (рис. 1 а, б), рабочего колеса и соплового аппарата турбины (рис. 2 а, б), основные гидравлические и газодинамические параметры насоса и турбины. К ним относятся:

- диаметр втулки крыльчатки насоса, $D_{вт}$, мм;
- диаметр средней линии лопаток крыльчатки насоса, D_1 , мм;
- диаметр входа в крыльчатку насоса, D_0 , мм;
- ширина крыльчатки на входе, b_1 , мм;
- диаметр крыльчатки на выходе, D_2 , мм;
- ширина крыльчатки на выходе, b_2 , мм;
- длина шнека по втулке, $l_{ш}$, мм;
- наружный диаметр шнека, $D_{2ш}$, мм;
- диаметр втулки на входе в шнек, $D_{вт ш1}$, мм;
- диаметр втулки на выходе в шнек, $D_{вт ш2}$, мм;
- средний диаметр соплового аппарата осевой турбины, $D_{ср}$, мм;
- высота лопатки соплового аппарата осевой турбины, $h_{сА}$, мм;
- ширина лопаток соплового аппарата осевой турбины, $b_{сА}$, мм;
- корневая перекрышка рабочего колеса осевой турбины, Δh_k , мм;
- высота лопаток рабочего колеса осевой турбины, $h_{рк}$, мм;
- ширина лопаток рабочего колеса осевой турбины, $b_{рк}$, мм;
- диаметр выхода из соплового аппарата центростремительной турбины, $D_{са цт}$, мм;
- высота лопаток соплового аппарата центростремительной турбины, $h_{са цт}$, мм;

- ширина лопаток соплового аппарата центростремительной турбины, $b_{са\ цт}$, мм;
- диаметр на входе рабочего колеса центростремительной турбины, $D_{1цт}$, мм;
- ширина лопатки рабочего колеса центростремительной турбины на входе, $b_{рк\ цт1}$, мм;
- диаметр средней линии лопаток рабочего колеса центростремительной турбины на входе, $D_{2цт}$, мм;
- ширина лопаток рабочего колеса центростремительной турбины на выходе, $b_{рк\ цт2}$, мм;
- диаметр выхода из рабочего колеса центростремительной турбины, $D_{вых\ цт}$, мм;
- диаметр втулки рабочего колеса центростремительной турбины, $D_{вт\ цт}$, мм;
- рабочее тело насоса;
- давление на входе в насос, $p_{вх}$, МПа;
- мощность насоса, N , кВт;
- массовый расход через насос, $m\dot{&}$, кг/с;
- температура на входе в насос T_n , К;
- КПД насоса, η_n , %;
- частота вращения ротора насоса, n , об/мин;
- давление на входе в турбину $p_{вхт}$, МПа;
- степень понижения давления на турбине, π_t ;
- температура на входе в турбину, T_t , К.

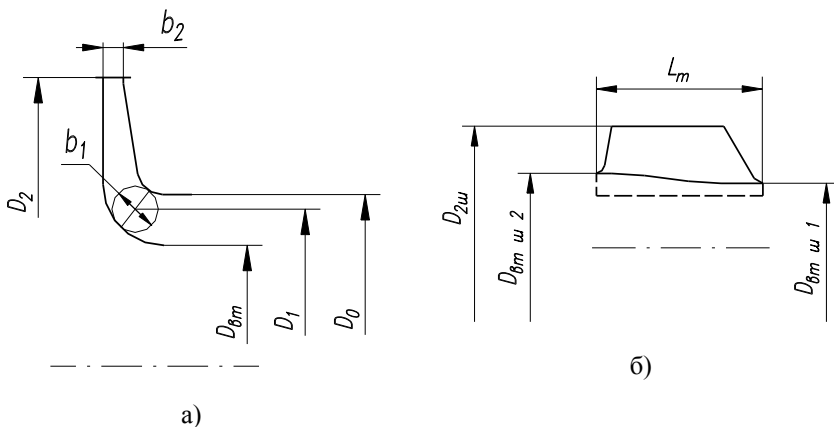


Рис. 1. Схема основных геометрических размеров рабочих колес насоса:
 а) – крыльчатка; б) шнек

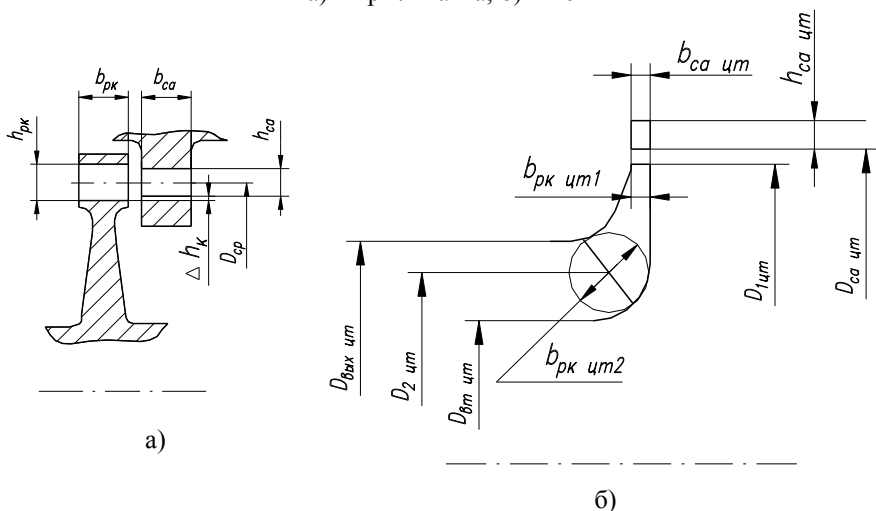


Рис. 2. Схема основных геометрических размеров рабочих колес турбины:
 а) – осевая турбина; б) центробежная турбина

Варианты заданий для выполнения курсового проекта приведены в табл. 1.

Таблица 1

Варианты задания для курсового проекта

Вариант	Рабочее тело	Dвт, мм	D ₀ , мм	D ₁ , мм	D ₂ , мм	B ₁ , мм	B ₂ , мм	D _{ср} , мм	h _{СА} , мм	N, кВт	n, об/мин	Давление на входе в насос, МПа	КПД насоса, %	Массовый расход, через насос кг/с	Давление на входе в турбину, МПа	π _г	T, К	Схема ТН
1	Метан	35	55	50	110	12	6	105	5,5	1250	45000	0,5	68	15,5	12	1,8	400	ММ
2	Кислород	40	60	55	125	18	9	115	15	4500	40000	1,1	67	62	12,5	1,2	720	КМ
3	Водород	30	55	50	150	18	6	220	12	2500	50000	0,8	72	5,5	9,5	1,6	800	МК
4	Керосин	75	105	90	205	15	9	190	8	2700	65000	0,7	65	12	20	1,4	1030	КМ
5	Водород	25	60	60	170	12	5	220	4	3000	45000	0,6	62	11	14	1,9	750	КК
6	Кислород	45	90	80	200	16	9	175	9,5	1500	45000	1,1	67	25	13	2,1	720	ММ
7	Метан	20	50	40	115	10	4	100	4	400	50000	0,6	71	3,5	10	1,5	950	КМ
8	Керосин	45	95	80	160	18	7,5	140	7	1800	42000	0,75	57	24	16	1,6	900	КМ
9	Водород	28	42	38	90	8	3	85	3,5	800	95000	0,4	64	2,8	12,5	1,9	380	ММ
10	Керосин	85	130	115	280	35	18	110	14	8000	30000	0,55	67	63	28	2,2	800	КК
11	Водород	30	60	45	145	15	5,5	130	5	1500	60000	0,8	61	6,1	18	1,8	750	КМ
12	Керосин	65	100	95	240	20	11	220	9	2500	50000	0,9	75	31	30	1,3	950	КК
13	Водород	50	85	75	140	12	6	150	5	1050	50000	0,7	59	5,4	18	1,9	1030	КМ
14	Кислород	70	115	100	265	28	14	300	11	5000	42000	0,9	69	74	24	2,2	700	ММ
15	Метан	15	60	50	180	15	5,5	220	5	750	60000	0,65	65	8	11,5	1,5	740	МК
16	Керосин	12	24	23	55	8	3	70	3	180	50000	20	35	0,6	11	1,3	1073	КМ

Продолжение табл.1

17	Водород	115	190	180	320	30	15	305	12	9000	30000	15	62	12	27,5	1,4	400	МК
18	Кислород	35	55	50	130	12	8	125	6	1100	55000	1,0	53	17	19	1,7	650	ММ
19	Метан	40	80	75	195	14	7,5	200	6	1600	45000	0,85	68	13,5	21	1,8	850	КМ
20	Керосин	150	250	210	460	45	20	195	16	11000	25000	2,4	65	83	22	1,7	900	КК
21	Водород	12	35	30	100	10	5	95	4	1250	75000	12	77	7,1	18	2,0	720	МК
22	Водород	50	85	75	140	12	6	120	5	1050	50000	0,6	70	4,5	11	1,8	450	ММ
23	Кислород	80	120	90	210	20	12	200	15	4500	40000	1,2	68	62	12,5	1,2	700	КМ
24	Метан	30	100	100	200	18	7	220	12	500	40000	0,8	72	5	9,5	1,6	800	МК
25	Керосин	75	105	90	205	15	9	190	8	2000	65000	0,7	65	12	20	1,4	1030	КМ
26	Водород	100	180	140	300	40	15	340	11	10000	35000	0,8	59	31	21	1,9	750	КК
27	Кислород	45	90	80	200	16	9	175	9,5	1500	45000	1,1	67	25	13	2,1	720	ММ
28	Метан	20	50	40	115	10	4	100	4	400	50000	0,6	71	3,5	10	1,5	950	КМ
29	Керосин	45	95	80	160	18	7,5	140	7	1800	42000	0,75	57	24	16	1,6	900	КМ
30	Водород	28	42	38	90	8	3	85	3,5	800	95000	0,4	64	2,8	12,5	1,9	380	ММ
31	Керосин	85	130	115	280	35	18	110	14	8000	30000	0,55	67	63	28	2,2	800	КК
32	Водород	30	60	45	145	15	5,5	130	5	1500	60000	0,8	61	6,1	18	1,8	750	КМ
33	Керосин	65	100	95	240	20	11	220	9	2500	50000	0,9	75	31	30	1,3	950	КК
34	Водород	50	85	75	140	12	6	150	5	1050	50000	0,7	59	5,4	18	1,9	1030	КМ
35	Кислород	70	115	100	265	28	14	300	11	5000	42000	0,9	69	74	24	2,2	700	ММ

Продолжение табл.1

36	Метан	15	60	50	180	15	5,5	220	5	750	60000	0,65	65	8	11,5	1,5	740	МК
37	Керосин	12	24	23	55	8	3	70	3	180	50000	20	35	0,6	11	1,3	1073	КМ
38	Водород	115	190	180	320	30	15	305	12	9000	30000	15	62	12	27,5	1,4	400	МК
39	Кислород	35	55	50	130	12	8	125	6	1100	55000	1,0	53	17	19	1,7	650	ММ
40	Метан	40	80	75	195	14	7,5	200	6	1600	45000	0,85	68	13,5	21	1,8	850	КМ
41	Керосин	150	250	210	460	45	20	195	16	11000	25000	2,4	65	83	22	1,7	900	КК
42	Водород	12	35	30	100	10	5	95	4	1250	75000	12	77	7,1	18	2,0	720	МК
43	Керосин	18	42	35	112	12	4	100	3,5	1500	65000	1	63	5,0	17,5	1,4	800	КК
44	Кислород	45	60	55	125	18	9	115	15	4500	40000	1,1	67	62	12,5	1,2	720	ММ
45	Водород	12	24	23	55	8	3	70	3	180	50000	20	35	0,6	11	1,3	1073	МК
46	Метан	115	190	180	320	30	15	305	12	9000	30000	15	62	12	27,5	1,4	400	КМ
47	Керосин	35	55	50	130	12	8	125	6	1100	55000	1,0	53	17	19	1,7	650	МК
48	Керосин	40	80	75	195	14	7,5	200	6	1600	45000	0,85	68	13,5	21	1,8	850	ММ
49	Кислород	150	250	210	460	45	20	195	16	11000	25000	2,4	65	83	22	1,7	900	МК
50	Водород	12	35	30	100	10	5	95	4	1250	75000	12	77	7,1	18	2,0	720	ММ
51	Метан	35	55	50	110	12	6	105	5,5	1250	45000	0,5	68	15,5	12	1,8	400	КМ
52	Кислород	40	60	55	125	18	9	115	15	4500	40000	1,1	67	62	12,5	1,2	720	МК
53	Водород	30	55	50	150	18	6	220	12	2500	50000	0,8	72	5,5	9,5	1,6	800	ММ
54	Керосин	75	105	90	205	15	9	190	8	2700	65000	0,7	65	12	20	1,4	1030	МК

Продолжение табл.1

55	Водород	25	60	60	170	12	5	220	4	3000	45000	0,6	62	11	14	1,9	750	КМ
56	Кислород	45	90	80	200	16	9	175	9,5	1500	45000	1,1	67	25	13	2,1	720	МК
57	Метан	20	50	40	115	10	4	100	4	400	50000	0,6	71	3,5	10	1,5	950	МК
58	Керосин	45	95	80	160	18	7,5	140	7	1800	42000	0,75	57	24	16	1,6	900	ММ
59	Водород	28	42	38	90	8	3	85	3,5	800	95000	0,4	64	2,8	12,5	1,9	380	МК
60	Керосин	85	130	115	280	35	18	110	14	8000	30000	0,55	67	63	28	2,2	800	КМ
61	Водород	30	60	45	145	15	5,5	130	5	1500	60000	0,8	61	6,1	18	1,8	750	МК
62	Керосин	65	100	95	240	20	11	220	9	2500	50000	0,9	75	31	30	1,3	950	КМ
63	Водород	50	85	75	140	12	6	150	5	1050	50000	0,7	59	5,4	18	1,9	1030	ММ
64	Кислород	70	115	100	265	28	14	300	11	5000	42000	0,9	69	74	24	2,2	700	МК
65	Метан	15	60	50	180	15	5,5	220	5	750	60000	0,65	65	8	11,5	1,5	740	КМ
66	Керосин	12	24	23	55	8	3	70	3	180	50000	20	35	0,6	11	1,3	1073	МК
67	Водород	115	190	180	320	30	15	305	12	9000	30000	15	62	12	27,5	1,4	400	ММ
68	Кислород	35	55	50	130	12	8	125	6	1100	55000	1,0	53	17	19	1,7	650	МК
69	Метан	40	80	75	195	14	7,5	200	6	1600	45000	0,85	68	13,5	21	1,8	850	ММ
70	Керосин	150	250	210	460	45	20	195	16	11000	25000	2,4	65	83	22	1,7	900	КМ
71	Водород	12	35	30	100	10	5	95	4	1250	75000	12	77	7,1	18	2,0	720	КМ
72	Водород	50	85	75	140	12	6	120	5	1050	50000	0,6	70	4,5	11	1,8	450	МК
73	Кислород	80	120	90	210	20	12	200	15	4500	40000	1,2	68	62	12,5	1,2	700	ММ

Продолжение табл.1

74	Метан	30	100	100	200	18	7	220	12	500	40000	0,8	72	5	9,5	1,6	800	КМ
75	Керосин	75	105	90	205	15	9	190	8	2000	65000	0,7	65	12	20	1,4	1030	МК
76	Водород	100	180	140	300	40	15	340	11	10000	35000	0,8	59	31	21	1,9	750	КМ
77	Кислород	45	90	80	200	16	9	175	9,5	1500	45000	1,1	67	25	13	2,1	720	МК
78	Метан	20	50	40	115	10	4	100	4	400	50000	0,6	71	3,5	10	1,5	950	ММ
79	Керосин	45	95	80	160	18	7,5	140	7	1800	42000	0,75	57	24	16	1,6	900	МК
80	Водород	28	42	38	90	8	3	85	3,5	800	95000	0,4	64	2,8	12,5	1,9	380	КМ
81	Керосин	85	130	115	280	35	18	110	14	8000	30000	0,55	67	63	28	2,2	800	МК
82	Водород	30	60	45	145	15	5,5	130	5	1500	60000	0,8	61	6,1	18	1,8	750	ММ
83	Керосин	65	100	95	240	20	11	220	9	2500	50000	0,9	75	31	30	1,3	950	КМ
84	Водород	50	85	75	140	12	6	150	5	1050	50000	0,7	59	5,4	18	1,9	1030	ММ
85	Кислород	70	115	100	265	28	14	300	11	5000	42000	0,9	69	74	24	2,2	700	МК
86	Метан	15	60	50	180	15	5,5	220	5	750	60000	0,65	65	8	11,5	1,5	740	КМ
87	Керосин	12	24	23	55	8	3	70	3	180	50000	20	35	0,6	11	1,3	1073	МК
88	Водород	115	190	180	320	30	15	305	12	9000	30000	15	62	12	27,5	1,4	400	ММ
89	Кислород	35	55	50	130	12	8	125	6	1100	55000	1,0	53	17	19	1,7	650	КМ
90	Метан	40	80	75	195	14	7,5	200	6	1600	45000	0,85	68	13,5	21	1,8	850	МК
91	Керосин	150	250	210	460	45	20	195	16	11000	25000	2,4	65	83	22	1,7	900	КМ

Продолжение табл.1

92	Водород	12	35	30	100	10	5	95	4	1250	75000	12	77	7,1	18	2,0	720	ММ
93	Керосин	18	42	35	112	12	4	100	3,5	1500	65000	1	63	5,0	17,5	1,4	800	МК
94	Кислород	45	60	55	125	18	9	115	15	4500	40000	1,1	67	62	12,5	1,2	720	КМ
95	Водород	12	24	23	55	8	3	70	3	180	50000	20	35	0,6	11	1,3	1073	ММ
96	Метан	115	190	180	320	30	15	305	12	9000	30000	15	62	12	27,5	1,4	400	КМ
97	Керосин	35	55	50	130	12	8	125	6	1100	55000	1,0	53	17	19	1,7	650	ММ
98	Керосин	40	80	75	195	14	7,5	200	6	1600	45000	0,85	68	13,5	21	1,8	850	МК
99	Кислород	150	250	210	460	45	20	195	16	11000	25000	2,4	65	83	22	1,7	900	КМ
100	Водород	12	35	30	100	10	5	95	4	1250	75000	12	77	7,1	18	2,0	720	МК

9

$$b_{CA} = 2h_{CA} , \text{ мм}; h_{PK} = h_{CA} + 0,1 h_{CA}, \text{ мм}; h_{PK} = b_{PK}$$

ТН расположение рабочих колес турбины и насоса относительно опор

М – межопорное расположение

К – консольное расположение

Например, МК – рабочее колесо турбины расположено между опорами, а рабочее колесо насоса – консольно относительно опор

ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

При выполнении курсового проекта студент должен выполнить следующие этапы работ:

1. Выбрать материалы для изготовления составных частей ТНА, обосновать выбор материалов с учетом условий эксплуатации (свойств рабочего тела, давления и температуры рабочего тела).

2. Разработать конструктивную схему ТНА, обосновать оптимальность её применения для заданных условий эксплуатации.

3. Выполнить расчет вала на кручение, определить минимальный допустимый диаметр вала для выбранных материалов.

4. Выбрать опоры ротора, обосновать выбор опор ротора с выполнением необходимых расчетов.

5. Выбрать шлицевые соединения для элементов ротора ТНА. Выполнить их расчеты на срез и смятие. Определить длину шлицевых соединений.

6. Построить меридиональное сечение крыльчаток и рабочих колес турбины. Определить их разрушающие частоты вращения. Выполнить оптимизацию толщины дисков крыльчаток и турбин. Выполнить расчет напряжений в корневом сечении лопатки (для осевой турбины).

7. Выполнить проверочный расчет вала на кручение, в том числе ступиц рабочих колес насоса и турбины.

8. Выбрать тип уплотнения между насосом и турбиной, типы уплотнений проточной части насоса и турбины. Обосновать выбор типа уплотнения для каждого случая. Выполнить расчет утечек через уплотнения. Обосновать объемный КПД насоса.

9. Выбрать и рассчитать на прочность крепежные элементы ротора.

10. Выбрать основные размеры подводящего и отводящего устройств насоса и турбины, обосновать выбор, выполнить их расчет и оптимизацию.

11. Спроектировать предварительное меридиональное сечение турбонасосного агрегата в масштабе 1:1, используя ранее полученные данные. Выполнить расчет массы агрегата.

12. Выполнить расчет осевых сил, при необходимости скорректировать размеры уплотнений, уточнить расчет расхода через уплотнение.

13. Выполнить расчет критических частот вращения ротора в зависимости от жесткости опор. Построить зависимость критической частоты вращения ротора от жесткости опор ротора. Определить необходимую жесткость опор для обеспечения запаса по критической частоте вращения не менее 10 %. При необходимости выполнить корректировку меридионального сечения и повторить расчет критических частот вращения для обеспечения необходимого запаса на жестких подшипниковых опорах.

14. Выполнить расчет радиальных нагрузок, действующих в ТНА. Выполнить расчет радиальных нагрузок, действующих на опоры ротора.

15. Выполнить расчет контактных напряжений и долговечности подшипников.

16. Выполнить чертеж общего вида ТНА в соответствии с требованиями ГОСТ 2.118-73 – ГОСТ 2.120-73.

17. Выполнить описание конструкции ТНА, в том числе его функционирования.

18. Оформить пояснительную записку в соответствии с требованиями СТП ВГТУ 62–2007.

Примечание. Все расчеты, варианты конструктивных схем, конструкции ТНА и его элементов с соответствующими пояснениями и описаниями, необходимыми для их понимания, должны быть приведены в пояснительной записке.

В качестве приложения к пояснительной записке прикладывается чертеж общего вида турбонасосного агрегата в масштабе 1:1, выполненный в графическом пакете (AutoCAD, Компас, DWGEditor и т.п.), или вручную, в соответствии с требованиями ГОСТ 2.118-73, ГОСТ 2.120-73.

Подробно описание порядка выполнения курсового проекта, расчетные соотношения и справочные материалы приведены в [1]. В качестве справочной могут быть использованы источники [2-4].

Ориентировочный график выполнения студентами курсового проекта:

- этапы 1–4 – 2-я неделя после выдачи задания;
- этапы 5–8 – 4-я неделя после выдачи задания;
- этапы 8–10 – 6-я неделя после выдачи задания;
- этапы 11–12 – 8-я неделя после выдачи задания;
- этапы 13–14 – 10-я неделя после выдачи задания;
- этапы 15–16 – 12-я неделя после выдачи задания;
- этапы 17–18 – 14-я неделя после выдачи задания.

В процессе подготовки курсового проекта студент предъявляет выполненные разделы (этапы) курсового проекта преподавателю с заполнением таблицы 2, выдаваемой студенту одновременно с выдачей задания на курсовой проект.

Таблица 2

График выполнения курсового проекта

Неделя	Подпись студента о выполнении	Заключение руководителя о выполнении	Примечания
2-я			
4-я			
6-я			
8-я			
10-я			

Для защиты курсового проекта заведующим кафедрой назначается комиссия из трех преподавателей кафедры. Студенту для выступления отводится 10–15 мин., после выступления студент должен ответить на вопросы членов комиссии. Защита курсового проекта проводится на 16-17 неделе после выдачи задания.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Расположение рабочего колеса турбины межопорное или консольное?
2. Из какого материала изготовлены крыльчатки насосов?
3. Как организована передача крутящего момента от турбины к насосу?
4. Запасы прочности по элементам передачи крутящего момента?
5. Типы уплотнений проточной части, применяемые в насосе?
6. Типы уплотнений проточной части, применяемые в турбине?
7. Как отличаются щелевые и лабиринтные уплотнения по своим расходным характеристикам?
8. Особенность применения материалов для насосов, перекачивающих жидкий водород?
9. Особенность применения материалов для насосов, перекачивающих жидкий кислород?
10. Особенность применения материалов турбин, работающих на газе с избытком водорода?
11. Особенность применения материалов турбин, работающих на газе с избытком кислорода?
12. Типы применяемых подшипников?
13. Как организовано охлаждение подшипников?
14. Осевая сила, действующая на упорный подшипник?
15. Способы разгрузки упорного подшипника от действия осевых сил?
16. Как организована разгрузка ротора от действия осевых сил?
17. Как организована разгрузка ротора от радиальных сил?
18. С помощью какого уплотнения отделяются полости

насоса и турбины?

19. Из какого материала изготовлены рабочие колеса турбины?

20. Какова быстроходность подшипников роторов насосов окислителя и горючего?

21. Что такое конструкционное демпфирование и где в ТНА оно применяется?

22. Что такое прецессия ротора?

23. Какие элементы конструкции ротора ТНА оказывают наибольшее влияние на его динамические характеристики?

24. Что такое докритический и закритический ротор ТНА?

25. Величина запаса по критической частоте вращения?

26. Что такое равнопрочный диск рабочего колеса турбины?

27. Запасы прочности по разрушающим оборотам для рабочих колес насоса и турбины?

28. Обеспечивают ли применяемые уплотнения заданную величину коэффициента полезного действия насоса?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов А.В. Проектирование насоса турбонасосного агрегата ЖРД: учеб. пособие / А.В. Иванов. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2012. 206 с.
2. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей / под общ. ред. Г.Г. Гахуна. М.: Машиностроение, 1989. – 424 с.
3. Иванов А.В. Конструкция двигателей ракеты-носителя «Протон»: учеб. пособие / А.В. Иванов, А.П.В. Пупынин. Воронеж: Воронеж. гос. тех. ун-т, 2012. – 92 с.
4. Иванов А.В. Турбонасосные агрегаты кислородно-водородных ЖРД / А.В. Иванов, А.И. Белоусов, А.И. Дмитренко. Воронеж: ВГТУ, 2011. – 283 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Исходные данные для выполнения курсового проекта.....	1
Требования к выполнению курсового проекта.....	10
Контрольные вопросы.....	13
Библиографический список.....	15

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к курсовому проекту по дисциплине
«Конструирование турбонасосных агрегатов
жидкостных ракетных двигателей»
для студентов специальности 24.05.02 «Проектирование
авиационных и ракетных двигателей»
очной формы обучения

Составитель Иванов Андрей Владимирович

В авторской редакции

Подписано к изданию 25.02.2016,
Уч.-изд. л. 1,0. «С»

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14