

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»

Кафедра «Ракетные двигатели»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Конструирование турбонасосных агрегатов жидкостных
ракетных двигателей» для студентов специальности 160700.65,
24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных
двигателей» очной формы обучения



Воронеж 2015

Составители: д-р техн. наук А.В. Иванов
канд.техн.наук Д.П. Шматов
лаб.-исслед. А.А. Пригожин
инж. А.А. Цыганов

УДК 621.453/.457

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Конструирование турбонасосных агрегатов жидкостных ракетных двигателей» для студентов специальности 160700.65, 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; Сост. А.В. Иванов, Д.П. Шматов, А.А. Пригожин, А.А. Цыганов. Воронеж, 2015. 26 с.

В методических указаниях содержатся описание лабораторных работ по изучению конструкции турбонасосных агрегатов жидкостных ракетных двигателей. Приведены справочные данные.

Предназначены для студентов пятого курса специальности 160700.65 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» специализации «Проектирование жидкостных ракетных двигателей» очной формы обучения.

Табл. 1. Ил. 25. Библиогр.: 2 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.Ф. Ефимочкин

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

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский
государственный технический
университет», 2015

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

КОНСТРУКЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ III СТУПЕНИ РАКЕТЫ- НОСИТЕЛЯ «СОЮЗ» – РД0110, КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТНА.

Цель работы: изучение конструкции и основных параметров турбонасосного агрегата двигателя РД0110, предназначенного для III ступени ракеты-носителя «Союз».

Место проведения: Класс конструкции или учебная лаборатория кафедры ракетных двигателей

Содержание работы:

1. Изучить параметры турбонасосного агрегата двигателя.

2. Изучить конструктивную схему агрегата, начертить её в отчете по лабораторной работе.

3. Изучить конструкцию одной из деталей ТНА по указанию преподавателя, выполнить её эскизирование.

4. Сделать необходимые записи и рисунки в рабочей тетради.

5. Отчитаться перед преподавателем, ответить на контрольные вопросы.

Используемые материалы:

1. Настоящее учебное пособие.

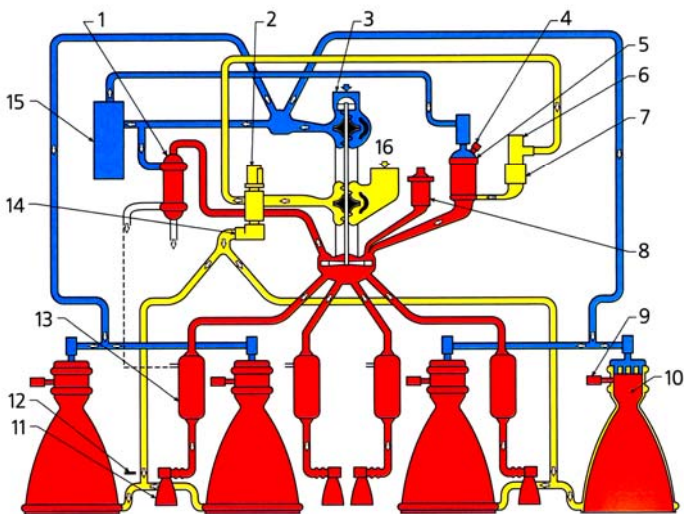
2. Альбом конструкций агрегатов системы питания базового предприятия.

3. Плакаты по конструкции ТНА двигателя РД0110.

4. Мультимедийный компакт-диск «Отечественные ракеты-носители». Версия 1.0.

5. Материальная часть двигателя РД0110.

6. Материальная часть ТНА РД0110.



ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ЖРД РД-0110

- 1 – теплообменник; 2 – дроссель; 3 – турбонасосный агрегат;
 4 – запальник; 5 – газогенератор; 6 – стабилизатор;
 7 – клапан горючего; 8 – пиростартер; 9 – запальник;
 10 – камера сгорания; 11 – сопло рулевое; 12 – ось качания,
 13 – газификатор; 14 – клапан горючего; 15 – регулятор;
 16 – горючее

Рис. 1. Принципиальная схема ЖРД РД0110

Параметры ТНА двигателей РД0110 и РД0124

Наименование параметра	Значение параметра	
	РД0110	РД0124
Кислородный насос		
Давление на входе, МПа	0,28	
Давление на выходе, МПа	9,81	33,28
Расход через насос, кг/с	64,5	65,46
Керсиновый насос		
Давление на входе, МПа	0,14	
Давление на выходе, МПа	14,32	36,56
Расход через насос, кг/с	29,3	29,91
Турбина		
Давление на входе в турбину, МПа	5,79	29,98
Давление на выходе из турбины, МПа	0,42	17,55
Расход через турбину, кг/с	3,97	59,85
Температура на входе в турбину, К	1050	
Частота вращения ротора, об/мин	18400	39000



Рис. 2. Внешний вид ТНА двигателя РД0110

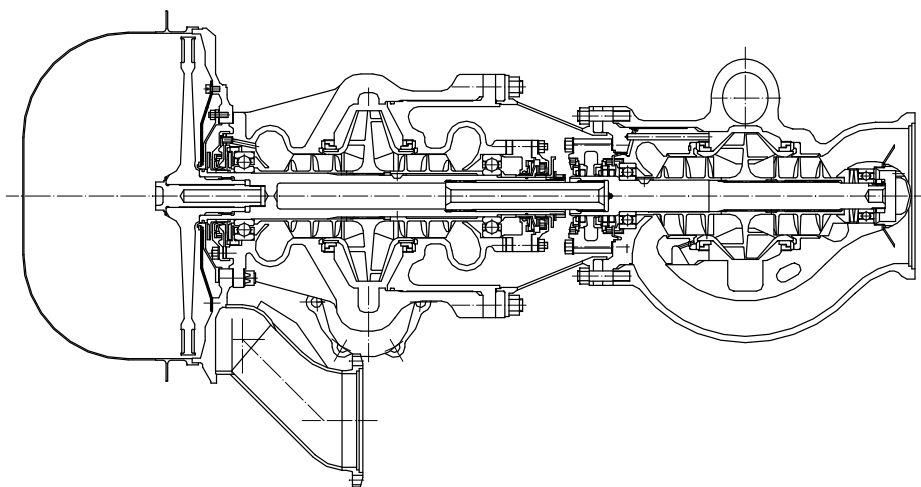


Рис. 3. Конструктивная схема ТНА ЖРД РД0110

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

КОНСТРУКЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ III СТУПЕНИ РАКЕТЫ- НОСИТЕЛЯ «СОЮЗ-2» – РД0124, КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТНА.

Цель работы: изучение конструкции и основных параметров турбонасосного агрегата двигателя РД0124, предназначенного для III ступени ракеты-носителя «Союз-2».

Место проведения: Класс конструкции или учебная лаборатория кафедры ракетных двигателей, музей базового предприятия.

Содержание работы:

1. Изучить параметры турбонасосного агрегата двигателя.
2. Изучить конструктивную схему агрегата, начертить её в отчете по лабораторной работе.
3. Изучить конструкцию одной из деталей ТНА по указанию преподавателя, выполнить её эскизирование.
4. Сделать необходимые записи и рисунки в рабочей тетради.
5. Отчитаться перед преподавателем, ответить на контрольные вопросы.

Используемые материалы:

1. Настоящее учебное пособие.
2. Альбом конструкций агрегатов системы питания базового предприятия.
3. Плакаты по конструкции ТНА двигателя РД0124.
4. Мультимедийный компакт-диск «Отечественные ракеты-носители». Версия 1.0.
5. Материальная часть двигателя РД0124.
6. Материальная часть ТНА РД0124.

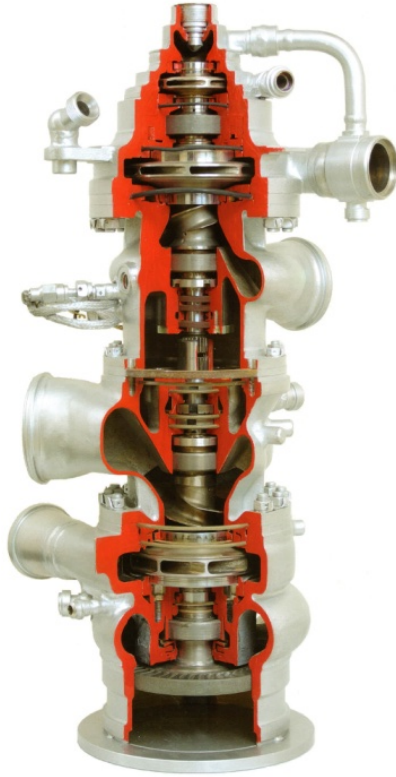


Рис. 4. Внешний вид ТНА двигателя РД0124

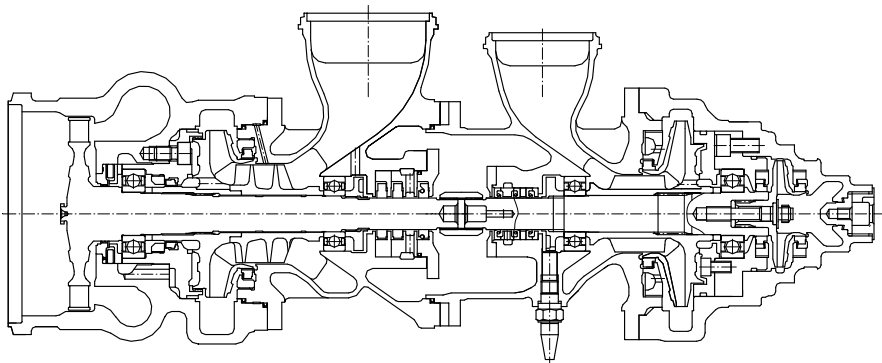


Рис. 5. Конструктивная схема ТНА ЖРД РД0124

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

КОНСТРУКЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ДВИГАТЕЛЯ I СТУПЕНИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «ПРОТОН» – РД-253.

Цель работы: изучение конструкции и основных параметров турбонасосного агрегата двигателя РД-253, предназначенного для I ступени ракеты-носителя «Протон».

Место проведения: Класс конструкции или учебная лаборатория кафедры ракетных двигателей.

Содержание работы:

1. Изучить параметры турбонасосного агрегата двигателя.
2. Изучить конструктивную схему агрегата, начертить её в отчете по лабораторной работе.
3. Изучить конструкцию одной из деталей ТНА по указанию преподавателя, выполнить её эскизирование.
4. Сделать необходимые записи и рисунки в рабочей тетради.
5. Отчитаться перед преподавателем, ответить на контрольные вопросы.

Используемые материалы:

1. Настоящее учебное пособие.
2. Учебное пособие «Конструкция двигателей ракеты-носителя «Протон».
3. Мультимедийный компакт-диск «Отечественные ракеты-носители». Версия 1.0.

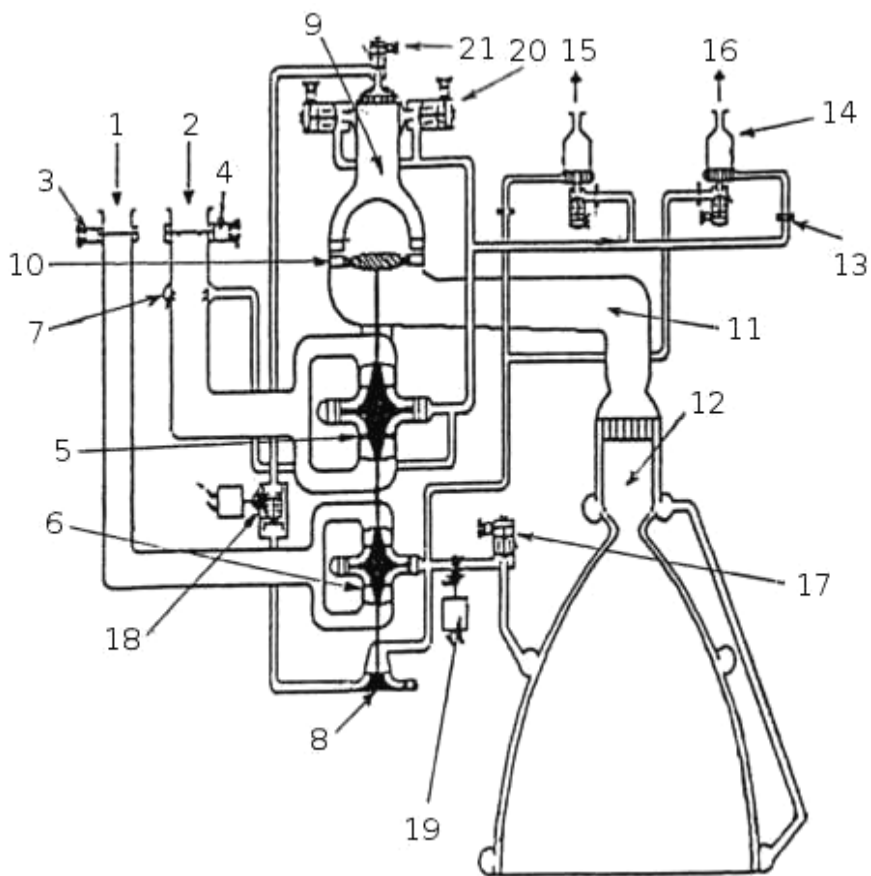


Рис. 6. Пневмогидравлическая схема двигателя РД-253:
 1 – подводящая магистраль горючего; 2 – подводящая магистраль окислителя; 3, 4 – пиромембранные клапаны; 5 – насос окислителя; 6 – камерная ступень насоса горючего; 7 – струйный преднасос окислителя; 8 – газогенераторная ступень насоса горючего; 9 – газогенератор; 10 – турбина; 11 – газовод; 12 – камера; 13 – дроссельная шайба; 14 – газогенератор наддува; 15, 16 – магистрали наддува баков; 17, 20, 21 – отсечные пироклапаны; 18 – регулятор тяги дроссель; 19 – дроссель – регулятор опорожнения баков

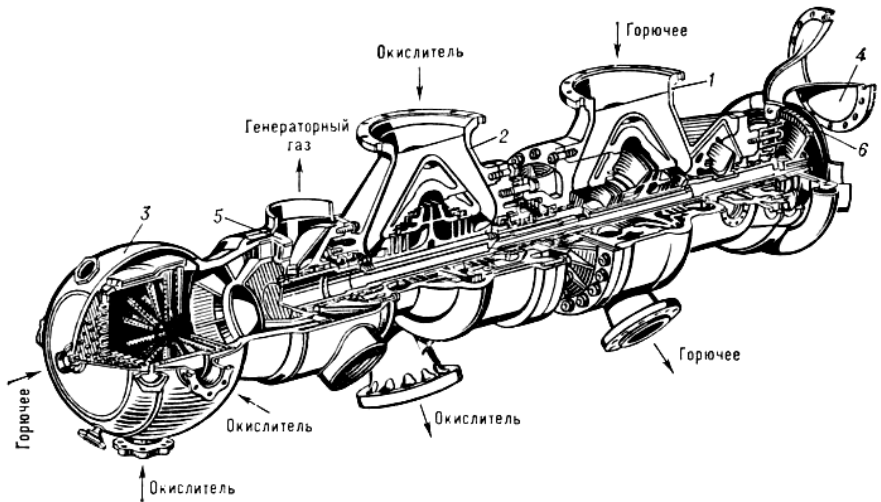


Рис. 7. ТНА раннего варианта двигателя РД-253:

1 – насос горючего; 2 – насос окислителя; 3– газогенератор;
 4 – фланец для установки пиропашки для привода пусковой турбины; 5 – основная турбина; 6 – пусковая турбина

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

КОНСТРУКЦИЯ ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ДВИГАТЕЛЕЙ II И III СТУПЕНЕЙ РАКЕТЫ- НОСИТЕЛЯ «ПРОТОН» – РД0210/0211, РД0212, КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТНА.

Цель работы: изучение конструкции и основных параметров турбонасосных агрегатов двигателей РД0210/0211, РД0212, предназначенного для II и III ступеней ракеты-носителя «Протон».

Место проведения: Класс конструкции или учебная лаборатория кафедры ракетных двигателей, музей базового предприятия.

Содержание работы:

1. Изучить параметры турбонасосного агрегата двигателя.
2. Изучить конструктивную схему агрегата, начертить её в отчете по лабораторной работе.
3. Изучить конструкцию одной из деталей ТНА по указанию преподавателя, выполнить её эскизирование.
4. Сделать необходимые записи и рисунки в рабочей тетради.
5. Отчитаться перед преподавателем, ответить на контрольные вопросы.

Используемые материалы:

1. Настоящее учебное пособие.
2. Альбом конструкций агрегатов системы питания базового предприятия.
3. Учебное пособие «Конструкция двигателей ракеты-носителя «Протон»
4. Плакаты по конструкции ТНА двигателей РД0210/0211, РД0212.
5. Мультимедийный компакт-диск «Отечественные ракеты-носители». Версия 1.0.
6. Материальная часть двигателей РД0210/0211, РД0212.
7. Материальная часть ТНА РД0210/0211, РД0212.

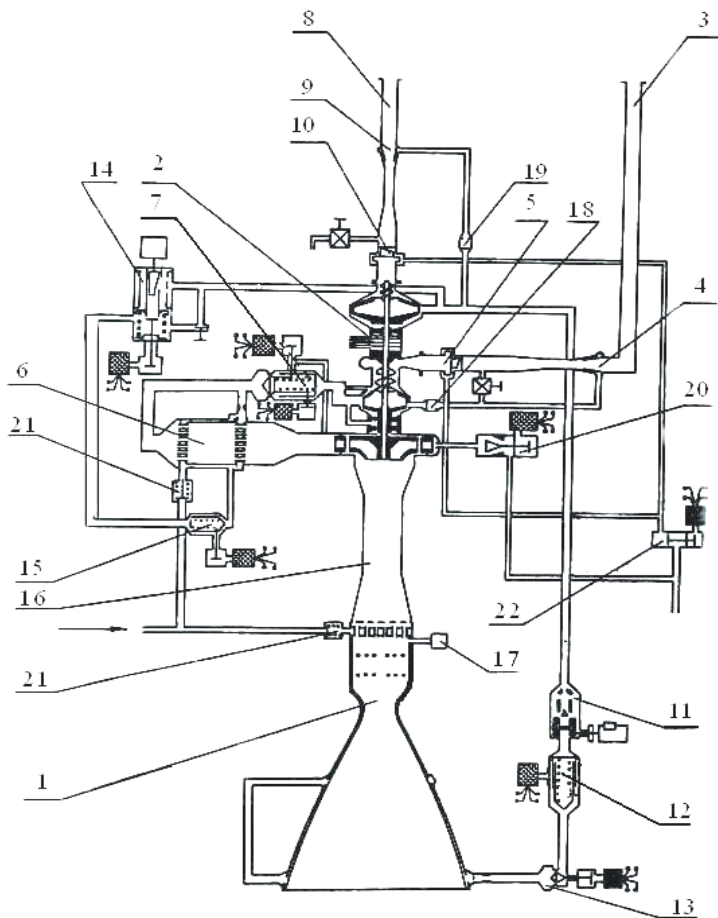


Рис. 8. Пневмогидравлическая схема двигателя РД0210:

1 – камера; 2 – ТНА; 3 – магистраль подвода окислителя; 4 – преднасос (эжектор) окислителя; 5 – пусковой клапан окислителя; 6 – газогенератор; 7 – клапан отсечки окислителя; 8 – магистраль подвода горючего; 9 – преднасос (эжектор) горючего; 10 – пусковой клапан горючего; 11 – дроссель; 12 – клапан горючего; 13 – отсечной клапан горючего; 14 – регулятор расхода; 15 – пуско-отсечной клапан горючего; 16 – газовод; 17 – датчик обратной связи; 18 – клапан эжектора окислителя; 19 – клапан эжектора горючего; 20 – отсечной клапан; 21 – обратный клапан продувки; 22 – клапан отсечки

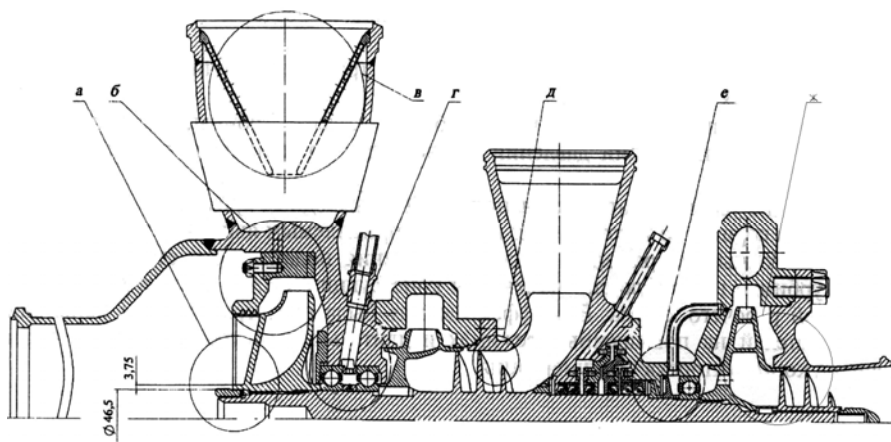


Рис. 9. Турбонасосный агрегат двигателей РД0210/РД0211, РД0212:

а – радиально-осевая центробежная турбина; б – корпус турбины; в – частотопоглощающая решетка; г – опорный узел насоса окислителя; д – шнек насоса окислителя; е – опорный узел насоса горючего; ж – крыльчатка со шнеком насоса горючего

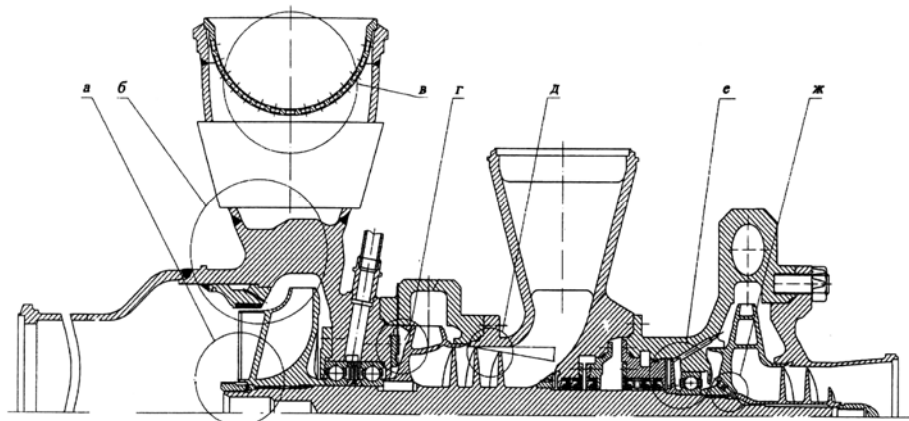


Рис. 10. Улучшенная конструкция ТНА:

а – радиально-осевая центробежная турбина; б – корпус турбины; в – частотопоглощающая решетка; г – крыльчатка насоса окислителя; д – шнек насоса окислителя; е – опорный узел насоса горючего; ж – крыльчатка насоса горючего

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

КОНСТРУКЦИЯ ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ДВИГАТЕЛЯ II СТУПЕНИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «ЭНЕРГИЯ» – РД0120, ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ТНА.

Цель работы: изучение конструкции и основных параметров турбокомпрессорного агрегата двигателя РД0120, предназначенного для II ступени ракеты-носителя «Энергия».

Место проведения: Класс конструкции или учебная лаборатория кафедры ракетных двигателей, музей базового предприятия.

Содержание работы:

1. Изучить параметры турбокомпрессорного агрегата двигателя.
2. Изучить конструктивную схему агрегата, начертить её в отчете по лабораторной работе.
3. Изучить конструкцию одной из деталей ТНА по указанию преподавателя, выполнить её эскизирование.
4. Сделать необходимые записи и рисунки в рабочей тетради.
5. Отчитаться перед преподавателем, ответить на контрольные вопросы.

Используемые материалы:

1. Настоящее учебное пособие.
2. Альбом конструкций агрегатов системы питания базового предприятия.
3. Плакаты по конструкции ТНА двигателя РД0120.
4. Мультимедийный компакт-диск «Отечественные ракеты-носители». Версия 1.0.
5. Материальная часть двигателя РД0120.
6. Материальная часть ТНА РД0120.

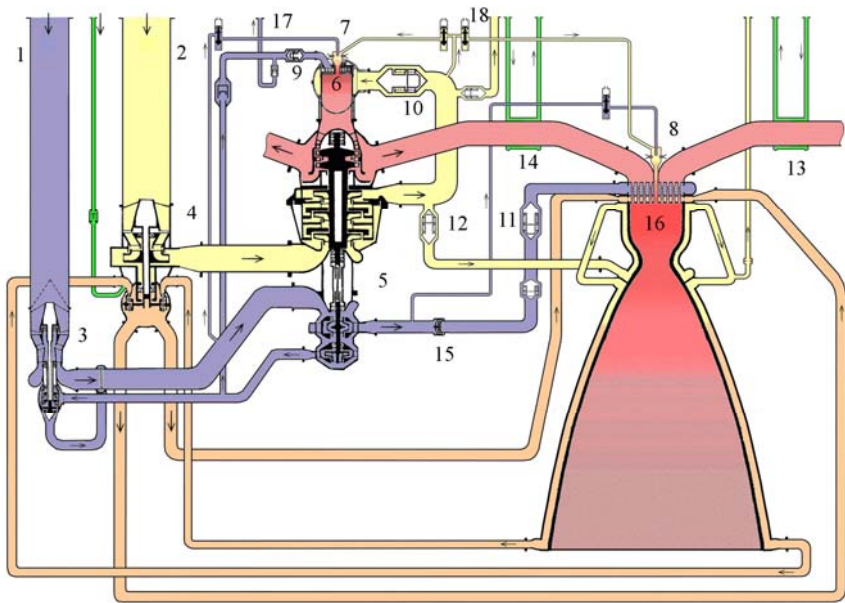


Рис. 11. Пневмогидравлическая схема двигателя РД-0120.

1 – подвод жидкого кислорода; 2 – подвод жидкого водорода; 3 – бустерный турбонасосный агрегат окислителя; 4 – бустерный турбонасосный агрегат горючего; 5 – турбонасосный агрегат; 6 – газогенератор; 7, 8 – воспламенительные устройства; 9 – клапан подачи окислителя к газогенератору; 10 – клапан подачи горючего к газогенератору; 11 – главный клапан окислителя; 12 – главный клапан горючего; 13, 14 – теплообменник; 15 – дроссель; 16 – камера и сопло с наружным (регенеративным) охлаждением; 17 – линия наддува бака окислителя; 18 – линия наддува бака горючего.

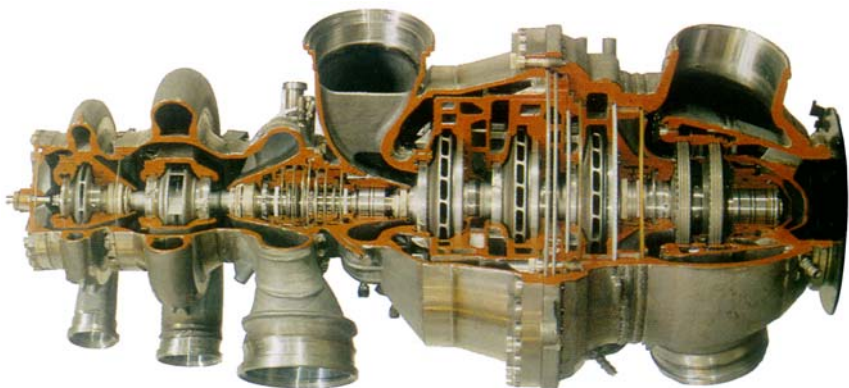


Рис. 12. Внешний вид ТНА двигателя РД0120

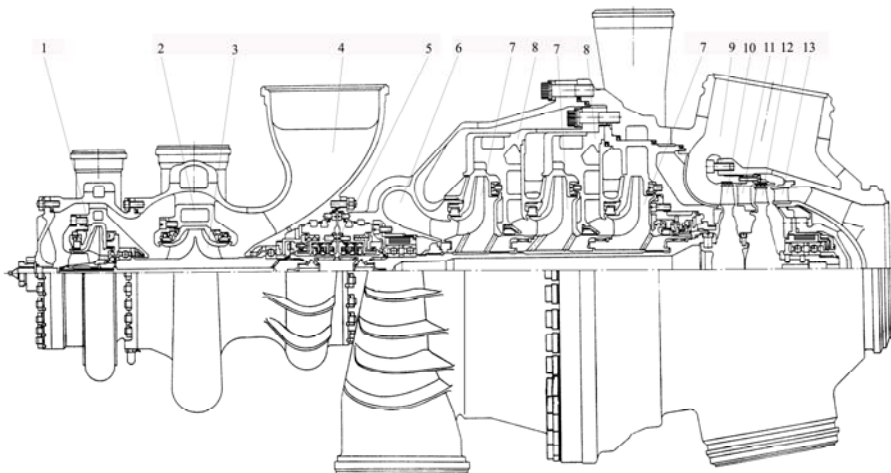


Рис. 13. Продольный разрез ТНА ЖРД РД0120

1 – крыльчатка генераторной ступени; 2 – отвод камерной ступени; 3 – крыльчатка камерной ступени; 4 – подвод кислородного насоса; 5 – разделительное уплотнение; 6 – подвод водородного насоса; 7 – крыльчатка; 8 – обратный направляющий аппарат; 9 – коллектор подвода газа к турбине; 10 – рабочее колесо второй ступени турбины; 11 – сопловой аппарат второй ступени турбины; 12 – рабочее колесо турбины первой ступени; 13 – сопловой аппарат первой ступени турбины.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

КОНСТРУКЦИЯ ЛОПАСТНЫХ БУСТЕРНЫХ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ НА ПРИМЕРЕ ДВИГАТЕЛЕЙ РД0120, РД0124, RL60.

Цель работы: изучение конструкции и основных параметров бустерных турбонасосных агрегатов на примере двигателей РД0120, РД0124, RL60.

Место проведения: Класс конструкции или учебная лаборатория кафедры ракетных двигателей, музей базового предприятия.

Содержание работы:

1. Изучить параметры бустерных турбонасосных агрегатов.
2. Изучить конструктивную схему агрегата, начертить её в отчете по лабораторной работе.
3. Изучить конструкцию одной из деталей БТНА по указанию преподавателя, выполнить её эскизирование.
4. Сделать необходимые записи и рисунки в рабочей тетради.
5. Отчитаться перед преподавателем, ответить на контрольные вопросы.

Используемые материалы:

1. Настоящее учебное пособие.
2. Альбом конструкций агрегатов системы питания базового предприятия.
3. Плакаты по конструкции БТНА двигателей РД0120, РД0124, RL60.
4. Мультимедийный компакт-диск «Отечественные ракеты-носители». Версия 1.0.
5. Материальная часть двигателя РД0120, РД0124.
6. Материальная часть БТНА РД0120, РД0124, RL60.

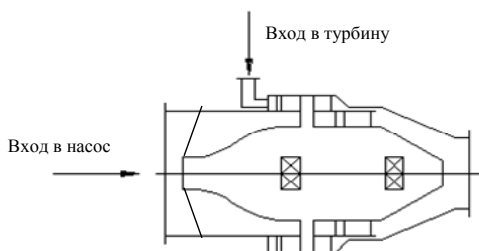


Рис. 14. Схема турбошнекового БТНА

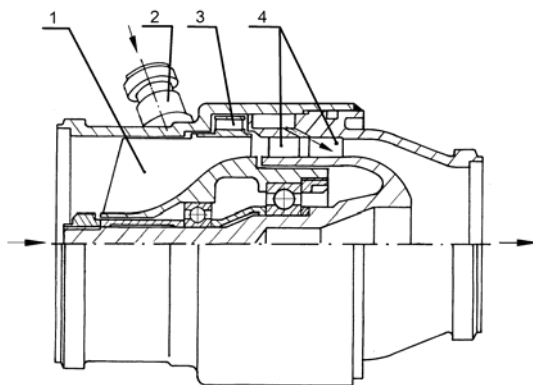


Рис. 15. Турбошнековый БТНА

1 – шнек; 2 – сопло гидротурбины; 3 – рабочее колесо гидротурбины; 4 – спрямляющий аппарат

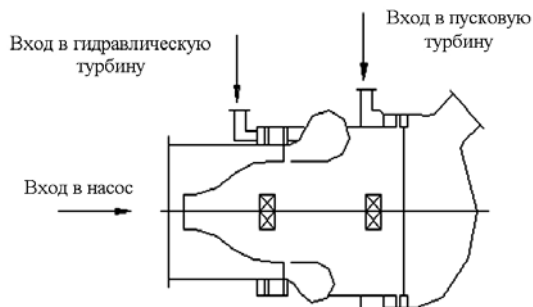


Рис. 16. Схема турбошнекового БТНА с пусковой турбиной

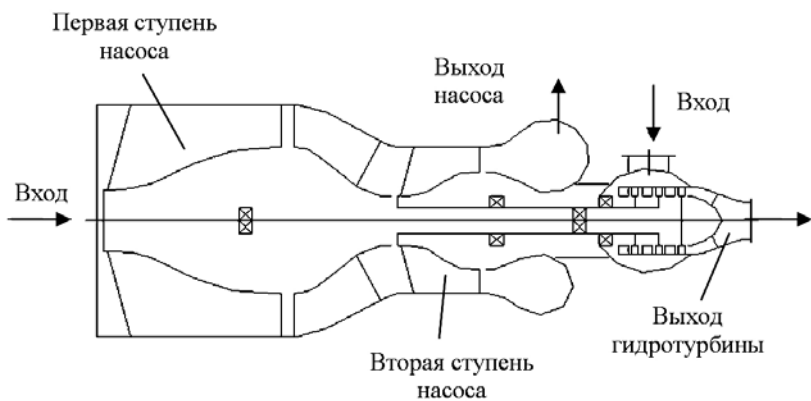


Рис. 17. Схема кислородного БТНА двигателя РД0120

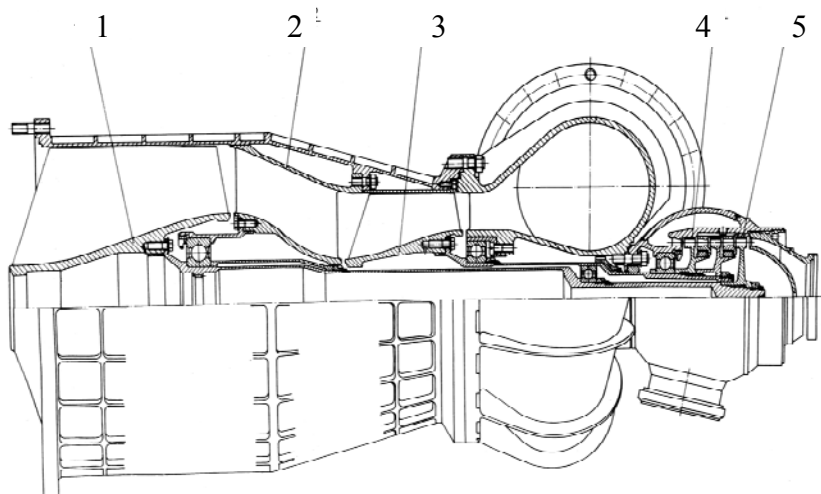


Рис. 18. Кислородный БТНА двигателя РД0120

1 – осецигональное рабочее колесо низконапорной ступени; 2 – спрямляющий аппарат; 3 – осецигональное рабочее колесо высоконапорной ступени; 4– гидротурбина высоконапорной ступени; 5– гидротурбина низконапорной ступени

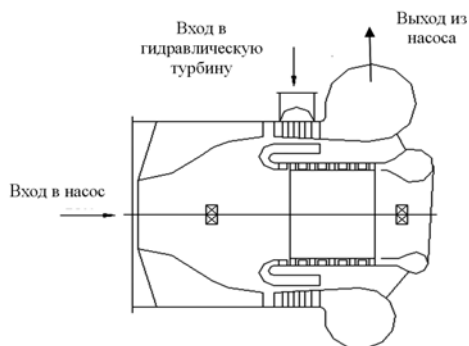


Рис. 19. Схема кислородного БТНА двигателя SSME

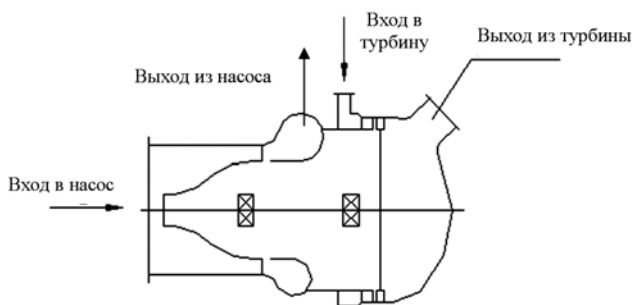


Рис. 20. Схема БТНА с газовой турбиной открытой схемы

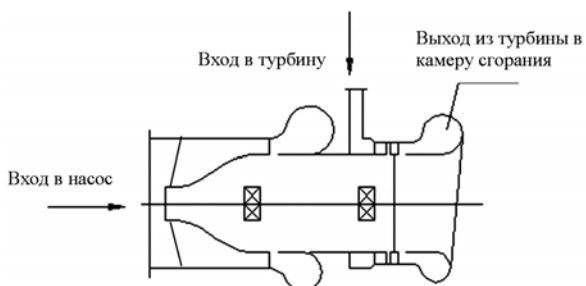


Рис. 21. Схема БТНА с отводом газа после турбины в камеру сгорания

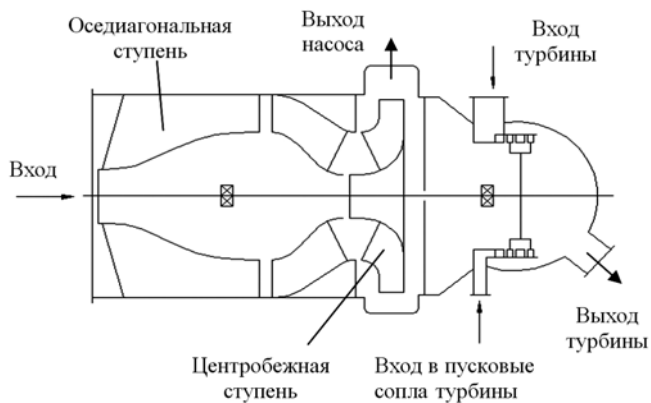


Рис. 22. Схема водородного БТНА двигателя РД0120

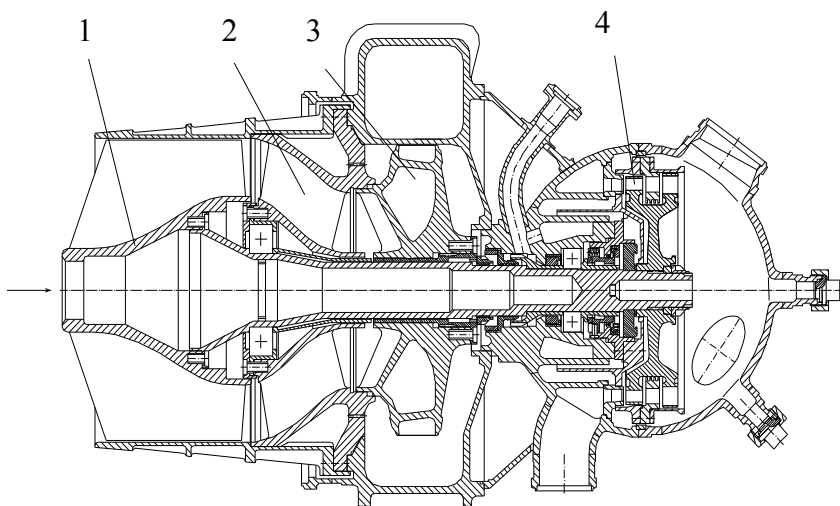


Рис. 23. Водородный БТНА двигателя РД0120

1 – оседиагональное рабочее колесо насоса; 2 – спрямляющий аппарат; 3 – центробежное рабочее колесо насоса; 4 – двухступенчатая газовая турбина

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

КОНСТРУКЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРЕДНАСОСОВ ДВИГАТЕЛЕЙ II И III СТУПЕНЕЙ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «ПРОТОН» – РД0210/0211, РД0212. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРУЙНЫХ ПРЕДНАСОСОВ.

Цель работы: изучение конструкции и основных параметров преднасосов двигателей II и III ступеней ракеты-носителя «Протон» – РД0210/0211, РД0212.

Место проведения: Класс конструкции или учебная лаборатория кафедры ракетных двигателей, музей базового предприятия.

Содержание работы:

1. Изучить параметры преднасосов.
2. Изучить конструктивную схему агрегата, начертить её в отчете по лабораторной работе.
3. Изучить конструкцию одной из деталей преднасоса по указанию преподавателя, выполнить её эскизирование.
4. Сделать необходимые записи и рисунки в рабочей тетради.
5. Отчитаться перед преподавателем, ответить на контрольные вопросы.

Используемые материалы:

1. Настоящее учебное пособие.
2. Альбом конструкций агрегатов системы питания базового предприятия.
3. Плакаты по конструкции эжекторных преднасосов двигателей РД0210/211, РД0212.
4. Мультимедийный компакт-диск «Отечественные ракеты-носители». Версия 1.0.
5. Материальная часть преднасосов двигателей РД0210/0211, РД0212.

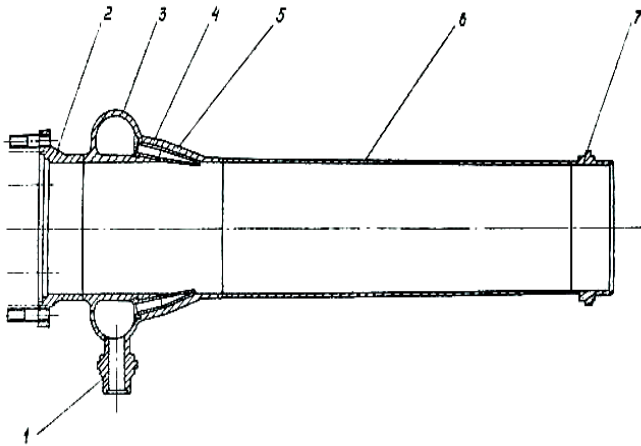


Рис. 24 Эжектор горючего:

1 – патрубок; 2, 7 – фланец; 3 – коллектор; 4 – насадок; 5 – корпус;
6 – смешительная камера

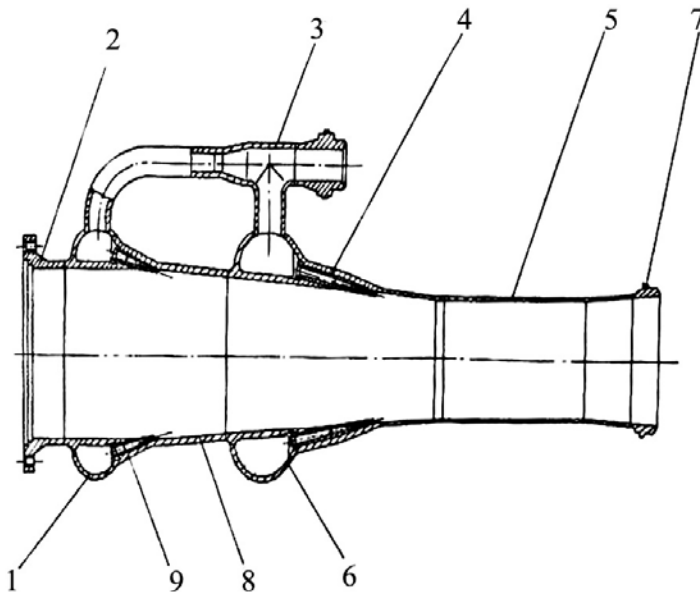


Рис. 25. Эжектор окислителя:

1, 6 – коллектор; 2, 7 – фланец; 3 – патрубок; 4, 9 – насадок; 5, 8 – корпус

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ И ЕГО ФОРМА:

Отчет содержит конструктивную схему ТНА (БТНА), его основные параметры, применяемые материалы, эскиз одной из деталей ТНА .

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. Типы уплотнений проточной части, применяемые в насосе?
5. Типы уплотнений проточной части, применяемые в турбине?
6. Типы применяемых подшипников?
7. Как организовано охлаждение подшипников?
8. Как организована разгрузка ротора от действия осевых сил?
9. Как организована разгрузка ротора от радиальных сил?
10. С помощью какого уплотнения отделяются полости насоса и турбины?
11. Из какого материала изготовлены рабочие колеса турбины?
12. Какова быстроходность подшипников роторов насосов окислителя и горючего?
13. Особенность расположения сопл в струйном преднасосе?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Иванов А.В. Турбонасосные агрегаты кислородно-водородных ЖРД / А.В. Иванов, А.И. Белоусов, А.И. Дмитренко. Воронеж: ВГТУ, 2011. – 283 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Конструкция и основные параметры турбонасосного агрегата жидкостного ракетного двигателя III ступени ракеты-носителя «Союз» – РД0110, конструкция элементов ТНА.....	3
Лабораторная работа № 2. Конструкция и основные параметры турбонасосного агрегата жидкостного ракетного двигателя III ступени ракеты-носителя «Союз-2» – РД0124, конструкция элементов ТНА.....	6
Лабораторная работа № 3. Конструкция и основные параметры турбонасосного агрегата двигателя I ступени ракеты-носителя «Протон» – РД-253.....	8
Лабораторная работа № 4. Конструкция турбонасосного агрегата двигателей II и III ступеней ракеты-носителя «Протон» – РД0210/0211, РД0212, конструкция элементов ТНА.....	11
Лабораторная работа № 5. Конструкция турбонасосного агрегата двигателя II ступени ракеты-носителя «Энергия» – РД0120, особенности конструкции элементов ТНА.....	14
Лабораторная работа № 6. Конструкция лопастных бустерных турбонасосных агрегатов на примере двигателей РД0120, РД0124, RL60...	17
Лабораторная работа № 7. Конструкция и основные параметры преднасосов двигателей II и III ступеней ракеты-носителя «Протон» – РД0210/0211, РД0212. Особенности проектирования струйных преднасосов.....	22
Содержание отчета по лабораторной работе и его форма...	24
Контрольные вопросы.....	24
Библиографический список.....	

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Конструирование турбонасосных агрегатов жидкостных
ракетных двигателей» для студентов специальности 160700.65,
24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных
двигателей» очной формы обучения

Составители: Иванов Андрей Владимирович
Шматов Дмитрий Павлович
Пригожин Антон Александрович
Цыганов Александр Александрович

В авторской редакции

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14