

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра ракетных двигателей

**КОНСТРУИРОВАНИЕ АГРЕГАТОВ ЖИДКОСТНЫХ
РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению самостоятельных работ по дисциплине
«Конструирование агрегатов жидкостных
ракетных двигателей» для студентов специальности
24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей»
(специализация «Проектирование жидкостных ракетных двигателей»)
очной формы обучения



Воронеж 2021

УДК 629.78.064
ББК

Составители:

А. А. Гуртовой, Д. П. Шматов, И. Г. Дроздов, Ю. В. Демьяненко

Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей: методические указания к выполнению самостоятельных работ по дисциплине «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей» для студентов специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» (специализация «Проектирование жидкостных ракетных двигателей») очной формы обучения / ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет"; сост.: А. А. Гуртовой, Д. П. Шматов, И. Г. Дроздов, Ю. В. Демьяненко. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. - 23 с.

В методических указаниях рассматриваются формы организации самостоятельной работы и требования, предъявляемые к самостоятельной работе студентов, а также представлены вопросы и задачи для самостоятельной работы по дисциплине «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей» для студентов специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» (специализация «Проектирование жидкостных ракетных двигателей»). При разработке методических указаний в основу положено Положение об организации самостоятельной (внеаудиторной) работы обучающихся ВГТУ по программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета, магистратуры (П 2.01.27-2017).

Издание предназначено для студентов очной формы обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ КАЖРД СР.pdf

Библиогр: 4 назв. Ил. 3

УДК 629.78.064
ББК

Рецензент – В. Д. Горохов, д.т.н., профессор кафедры ракетных двигателей ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Глубокое понимание общих проблем и задач по дисциплине «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей» невозможно без систематической самостоятельной работы, контроля и самоконтроля в течение всего учебного семестра.

Определённую помощь в этой работе окажет настоящее методическое руководство.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Самостоятельная работа студентов является обязательным компонентом учебного процесса для каждого студента. При определении содержания самостоятельной работы студентов учитывается их уровень самостоятельности и требования к уровню самостоятельности выпускников для того, чтобы за период обучения искомый уровень был достигнут [1].

Общий объем самостоятельной работы по дисциплине «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей» определяется учебным планом специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей». Объем самостоятельной работы студентов в ходе изучения тем и разделов дисциплины «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей» определяется в рабочей программе данной дисциплины.

Основными формами организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Конструированию агрегатов жидкостных ракетных двигателей» являются: подготовка к выполнению лабораторных работ и их защите, выполнение домашних заданий (включая работу со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами, решение задач, ответ на контрольные вопросы, заполнение рабочей тетради, аналитическая обработка текста), выполнение курсового проекта, подготовка к практическим занятиям, подготовка к зачёту и экзамену, расширенное изучение одного из разделов дисциплины, прочитанных на лекциях в краткой форме, освоение дополнительного материала в формате онлайн-курсов, учебно-исследовательская работа и др.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

Обязательная самостоятельная работа обеспечивает подготовку студента к текущим аудиторным занятиям. Результаты этой подготовки проявляются в активности студента на занятиях, выполненных тестовых заданий и других форм текущего контроля [1].

Контролируемая самостоятельная работа направлена на углубление и закрепление знаний студента, развитие аналитических навыков по проблематике дисциплины «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей». Подведение итогов и контроль за результатом таких форм самостоятельной работы осуществляется во время занятий, проводимых в форме контактной работы.

В данных методических указаниях представлены следующие методические рекомендации: по освоению учебного материала по конспекту лекций и дополнительной литературе; по подготовке к практическому занятию; по подготовке к выполнению лабораторных работ и их защите; к выполнению домашних заданий; к самостоятельному изучению отдельной темы с использованием основной и дополнительной литературы; к подготовке информационного сообщения.

Также в данных методических указаниях представлены типовые и оригинальные вопросы и задачи, своевременная проработка и изучение которых будут способствовать более глубокому усвоения материала цикла, а также успешной подготовке к курсовому и дипломному проектированию.

Вопросы и задачи, помещённые в настоящее методическое руководство, опираются на изучаемый лекционный материал и требуют, кроме того, знания принципов и соотношений термодинамики и гидрогазодинамики.

Все вопросы и задачи можно разделить на группы, направленные на формирование у обучающихся следующих компетенций:

- участие в разработке эскизных, технических и рабочих проектов изделий и технологических процессов;
- способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений;
- способность выполнять термопрочностные расчеты и осуществлять конструирование деталей, узлов и элементов ЖРД;
- способность разрабатывать эффективные системы охлаждения, обеспечивающие надежный режим работы теплонапряженных узлов и деталей жидкостных ракетных двигателей и энергетических установок, а также высокоэффективные теплообменные аппараты в составе жидкостных ракетных двигательных установок;
- обеспечение выполнения международных обязательств по контролю за нераспространением ракетно-ядерного оружия.

Структура вопросов и ответов соответствует известной схеме: каждый сформулированный вопрос содержит четыре варианта ответа, каждый из которых имеет соответствующую букву. Задача студента – найти правильный вариант ответа, соответствующий данной постановке вопроса. Необходимо стараться решить задачу самому, обращаясь к конспекту лекций и учебникам.

1 Методические рекомендации по освоению учебного материала по конспекту лекций и дополнительной литературе

Изучение теоретической части дисциплины «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей» призвано не только углубить и закрепить знания, полученные на аудиторных занятиях, но и способствовать развитию у студентов творческих навыков, инициативы и способности организовать свое время. Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, студентам лучше всего осуществлять весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно прорабатывать и дополнять сведениями из других источников литературы, представленных не только в программе дисциплины «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей», но и в периодических изданиях. При изучении дисциплины сначала необходимо по каждой теме прочитать рекомендованную литературу и составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме для освоения последующих тем курса. Для расширения знания по дисциплине «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей» рекомендуется использовать Интернет-ресурсы; проводить поиски в различных системах и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем.

Самостоятельную работу следует начинать с доработки конспекта, желательно в тот же день. С целью доработки необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее следует изучить материал, используя рекомендуемую литературу, разрешая в ходе чтения возникшие ранее затруднения, находя ответы на вопросы, а также дополняя и исправляя свои записи. Записи должны быть наглядными, для чего следует применять различные способы выделений. Подготовленный конспект и рекомендуемая литература используются при подготовке к практическому занятию [1].

2 Методические рекомендации по подготовке к практическому занятию

Подготовка к практическому занятию по дисциплине «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей» начинается с внимательного прочтения учебного материала, включая самостоятельный вывод всех утверждений и формул, упомянутых в материале. Далее следуют решение примеров, задач, ответ на вопросы, предложенные в конце лекции преподавателем или помещенные в рекомендуемой литературе. Примеры, задачи, вопросы по теме являются средством самоконтроля. Непременным

условием глубокого усвоения учебного материала является знание основ, на которых строится изложение материала дисциплины «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей» [1].

3 Методические рекомендации по подготовке к выполнению лабораторных работ и их защите

Лабораторная работа - это проведение студентами по заданию преподавателя или по инструкции опытов с использованием приборов, применением инструментов и других технических приспособлений, специализированного программно-аппаратного обеспечения и пр.

Проведение лабораторных работ по дисциплине «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей», как правило, включает в себя следующие этапы:

- постановку темы занятий и определение задач лабораторной работы;
- определение порядка выполнения лабораторной работы или отдельных ее этапов;
- непосредственное выполнение лабораторной работы студентами и контроль за ходом занятий и соблюдением техники безопасности;
- подведение итогов лабораторной работы и формулирование основных выводов.

При подготовке к лабораторному занятию по дисциплине «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей» необходимо заранее изучить методические рекомендации по его проведению. Обратить внимание на цель занятия, на основные вопросы для подготовки к занятию, на содержание темы занятия. Самостоятельная работа на этапе подготовки к выполнению лабораторной работы может включать оформление таблиц для фиксации экспериментальных данных, подготовку шаблонов протоколов испытаний и др.

Самостоятельная работа студента на этапе подготовки к защите лабораторной работы включает в себя оформление результатов, формулирование выводов, ответы на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях к выполнению лабораторной работы [1].

4 Методические рекомендации к выполнению домашних заданий

Домашние задания, как правило, выдаются преподавателем для закрепления знаний и навыков, полученных в ходе аудиторной работы, с указанием контрольного срока выполнения. Для успешного их выполнения необходимо убедиться, что формулировка задания не содержит неясных терминов, есть четкое понимание, какими методическими материалами и дополнительными источниками необходимо руководствоваться, каким образом можно получить консультацию в случае возникновения затруднений [1].

5 Методические рекомендации к самостоятельному изучению отдельной темы с использованием основной и дополнительной литературы

Отдельные темы, дополняющие и расширяющие проблемное поле дисциплины «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей», могут быть предложены обучающимся для самостоятельного изучения. В этом случае основной формой самостоятельной работы является чтение и конспектирование литературы, а также разбор примеров и решение рекомендованных задач.

При работе с книгой необходимо подобрать литературу, научиться правильно ее читать, вести записи. Для подбора литературы в библиотеке используются алфавитный и систематический каталоги. Важно помнить, что рациональные навыки работы с книгой позволяют экономить время и повышают продуктивность. Правильный подбор учебников рекомендуется преподавателем, читающим лекционный курс по дисциплине «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей». Необходимая литература может быть также указана в методических разработках по данному курсу. Самостоятельная работа с учебниками и книгами (а также самостоятельное теоретическое исследование проблем, обозначенных преподавателем на лекциях) – это важнейшее условие формирования научного способа познания.

Основные приемы можно свести к следующим:

- составить перечень книг, с которыми следует познакомиться;
- перечень должен быть систематизированным (что необходимо для практических занятий, что для зачета и экзамена, что пригодится для написания курсового проекта, а что выходит за рамки официальной учебной деятельности, и расширяет общую культуру);
- обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсового проекта это позволит экономить время);
- определить, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть;
- при составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателем, который поможет сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время;
- все прочитанные книги, учебники и статьи следует конспектировать, выписывая кратко основные идеи автора и иногда приводя наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц);
- следует выработать способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать).

Таким образом, чтение научного текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации. От

того на сколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия.

Научная методика работы с литературой предусматривает также ведение записи прочитанного. Это позволяет привести в систему знания, полученные при чтении, сосредоточить внимание на главных положениях, зафиксировать, закрепить их в памяти, а при необходимости вновь обратиться к ним [1].

6 Методические указания к подготовке информационного сообщения

Это вид внеаудиторной самостоятельной работы по подготовке небольшого по объему устного сообщения для озвучивания может быть использован на практическом занятии по дисциплине «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей». Сообщаемая информация носит характер уточнения или обобщения, несет новизну, отражает современный взгляд по определенным проблемам. Сообщение отличается от докладов и рефератов не только объемом информации, но и ее характером – сообщения дополняют изучаемый вопрос фактическими или статистическими материалами. Возможно письменное оформление задания, оно может включать элементы наглядности (иллюстрации, демонстрацию). Регламент времени на озвучивание сообщения – до 5 мин. [1].

7 Контрольные вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Что определяет в реактивном движении соотношение: И.В. Мещерского; К.Э. Циолковского?

- а) Тягу реактивного двигателя;
- б) Скорость движения ракеты;
- в) Уравнение движения ракеты;
- г) Распределение массы по ступеням ракеты;

2. Какая идеальная скорость ракеты необходима для вывода спутника на околоземную орбиту?

- а) 8 км/с;
- б) 9 км/с;
- в) 10 км/с;
- г) 11 км/с;

3. Что понимается под «автономностью» работы ракетного двигателя?

- а) Независимость параметров от внешней среды;
- б) Рабочее тело двигателя находится на борту летательного аппарата;
- в) Источник энергии находится на борту летательного аппарата;
- г) Двигатель работает без использования внешней среды;

4. Укажите характерные значения удельного импульса в метрах в секунду: ЖРД; РДТТ; ЯРД; ЭРД.

- а) 2200...2500;
- б) 3500...4500;
- в) 8000...10000;
- г) 50000...100000;

5. Как влияет на идеальную скорость ракеты: ускорение ракеты; тяга двигателя; время работы двигателя?

- а) Слабо;
- б) Сильно;
- в) Не влияет;
- г) Неопределённо, влияние сложное

6. Какие параметры оказывают решающее влияние на выбор: ЖРД; РДТТ?

- а) Удельная масса, продолжительность работы, величина миделевой тяги;
- б) Удельный импульс, возможность регулирования тяги, возможность многократного запуска в полете;
- в) Суммарный импульс, габариты двигателя, ресурс двигателя;
- г) Сложность эксплуатации, готовность к пуску, сложность изготовления, стоимость;

7. Какие показатели определяют выбор ЖРД: с насосной подачей; с вытеснительной подачей?

- а) Регулирование тяги, ресурс двигателя, удельная масса двигателя.
- б) Удельный импульс, габариты двигателя, масса ракеты.
- в) Готовность к пуску, надежность, стоимость.
- г) Длительность работы, многократность запуска, давление на срезе сопла

8. Укажите летательные аппараты, на которых целесообразнее применять ЖРД с подачей компонентов: вытеснительной; турбонасосной без дожигания; турбонасосной с дожиганием одного газа; турбонасосной с дожиганием двух газов.

- а) Автоматические космические корабли.
- б) Орбитальные космические станции.
- в) Первая ступень ракетносителя.
- г) Верхние ступени ракетносителя

9. При модернизации двигателя увеличили удельный импульс, но одновременно возросла и его масса. Как оценить конечный эффект?

- а) Сравнить новый удельный импульс с прежним.
- б) Сравнить новую массу с прежней.
- в) Сравнить одновременно новые значения импульса и массы двигателя с их прежними значениями.
- г) Определить эффективное изменение удельного импульса, введя массовый эквивалент

10. На ракете не вырабатывается полностью топливо из баков. Как нагляднее оценить этот недостаток системы питания?

- а) Найти уменьшение времени работы двигателя;
- б) Найти уменьшение суммарного импульса;
- в) Найти соответствующее число единиц удельного импульса через массовый эквивалент;
- г) Найти новое значение относительной конечной массы ракеты;

11. Почему разработка ЖРД относится к разряду опытно-конструкторских работ?

- а) в ЖРД много деталей;
- б) процессы, происходящие в агрегатах двигателя, недостаточно изучены и требуется опытная проверка работоспособности;
- в) проще провести опытную отработку, чем составлять математические модели;
- г) недостаточно накоплено статистических материалов;
- д) все равно необходимо проведение летных испытаний;

12. Какие работы включает функциональное проектирование ЖРД?

- а) разработку чертежей деталей;
- б) рациональное расположение агрегатов относительно друг друга;
- в) разработку принципиальной и конструкторской схем двигателя;
- г) создание виртуального макета двигателя;
- д) расчет прочности элементов двигателя.

13. Какие факторы учитывает при оптимизации критерий $I_{упр}$?

- а) надежность ДУ;
- б) технологичность конструкции;
- в) только экономичность работы двигателя;
- г) экономичность и совершенство по массе;
- д) безопасность эксплуатации.

14. На каком режиме работает двигатель наиболее продолжительное время?

- а) на режиме максимальной тяги;
- б) на основном режиме;
- в) на предварительном режиме;
- г) на режиме останова;
- д) на конечном режиме.

15. Должны ли быть показаны на пневмогидравлической схеме (ПГС) агрегаты, необходимые для запуска двигателя?

- а) нет, на ПГС приведены только агрегаты, обеспечивающие основной режим;
- б) нет, потому что они находятся вне двигателя;
- в) да, потому что на ПГС должны быть приведены все агрегаты;
- г) нет, потому что они должны быть описаны в описании ЖРД.

16. Какие факторы учитывает при оптимизации критерий $V_{ид}$?

- а) надежность ДУ;
- б) технологичность конструкции;
- в) только экономичность работы двигателя;
- г) экономичность и совершенство по массе;
- д) безопасность эксплуатации.

17. На рис. 1 приведена ПГС ЖРД. Определить, этот ЖРД с дожиганием или нет и найти газогенератор.

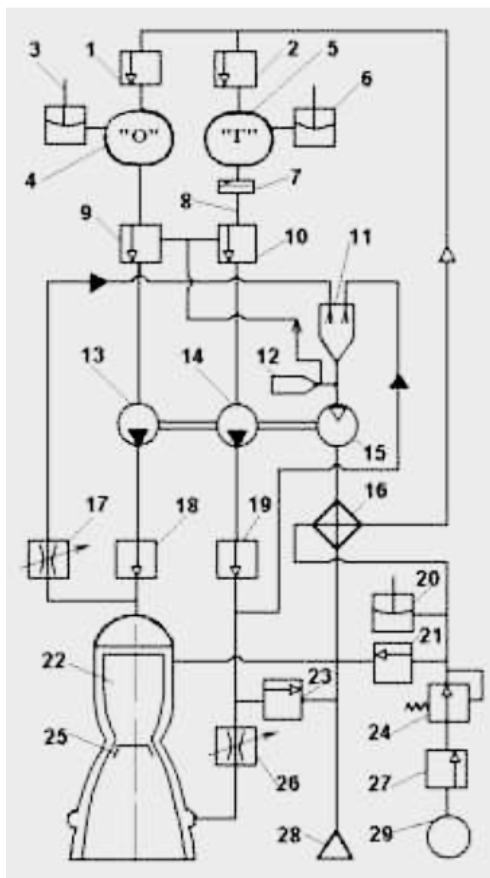


Рис. 1. Пневмогидравлическая схема ЖРД

Газогенератор обозначен №: 15, 18, 20, 11, 12.

18. Чем на схеме (рис. 1) производится наддув баков?

- а) генераторным газом;
- б) охлажденным генераторным газом;
- в) воздухом из баллона;
- г) подогретым воздухом из баллона;
- д) парами компонентов;

19. Почему во время запуска двигателя чаще, чем в других случаях возникают неустойчивые процессы?

- а) потому что запуск происходит очень быстро;
- б) потому что во время запуска задействовано много агрегатов;
- в) потому что в агрегатах часто наблюдается нерасчетное соотношение компонентов и переменная температура;

- г) потому что расходы компонентов переменны;
- д) потому что процесс запуска сложен;

20. Почему запуск должен быть проведен за минимальное время?

- а) все процессы в ЖРД должны проходить быстро;
- б) этого требуют тактико-технические требования к ракете;
- в) чтобы получить максимальное ускорение;
- г) чтобы израсходовать минимальное количество топлива;
- д) чтобы уменьшить массу ракеты;

21. Какое значение скорости входит в формулу Циолковского

$$v = W \dots \ln\left(\frac{1}{\mu}\right)?$$

- а) W_a ;
- б) $W_a + F_{\text{ауд}} \cdot p_a$;
- в) $W_a + F_{\text{ауд}} \cdot (p_a - p_n)$;
- г) $W_{a \text{ max}}$;

22. Какое значение удельного импульса следует использовать при расчёте идеальной скорости $v = I \dots \ln\left(\frac{1}{\mu}\right)$, если ракета стартует с земли?

- а) I_{max} ;
- б) I_n ;
- в) I_p ;
- г) $I_n = 0$;

23. Какие показатели определяют выбор ЖРД: с насосной подачей; с вытеснительной подачей?

- а) Регулирование тяги, ресурс двигателя, удельная масса двигателя.
- б) Удельный импульс, габариты двигателя, масса ракеты.
- в) Готовность к пуску, надежность, стоимость.
- г) Длительность работы, многократность запуска, давление на срезе

24. Сколько килограммов можно добавить к полезной нагрузке ракеты, если при модернизации возросли удельный импульс на 100 м/с и масса конструкции на 200 кг; массовый эквивалент 10 (кг·с)/м.

- а) 1000 кг;
- б) 800 кг;

- в) 600 кг;
- г) 400 кг;

25. Остатки не вырабатываемого топлива уменьшили с 1,0 до 0,5% от запаса топлива. Найти прирост идеальной скорости ракеты, если начальная масса ракеты 50 т, относительная конечная масса 0,3, пустотный удельный импульс 3500 м/с, массовый эквивалент 10 (кг·с)/м.

- а) 0,5%;
- б) 1,0%;
- в) 1,5%;
- г) 2,0%;

26. Какие из четырех соотношений определяют мощность ракетного двигателя: 1. $\frac{\dot{m} \cdot w_a^2}{2}$; 2. $\frac{P_p \cdot I_p}{2}$; 3. $\frac{\dot{m} \cdot w_a}{2}$; 4. $C \cdot K_p$?

- а) 1; 2.
- б) 1; 4.
- в) 2; 3.
- г) 3; 4

27. В каком случае эффективная скорость численно равна скорости истечения w_a ?

- а) При $p_a < p_n$.
- б) При $p_a = p_n$.
- в) При $p_a > p_n$.
- г) Всегда

28. Чем различаются формулы для определения расхода?

$$\dot{m} = m \frac{p^* F_q(\lambda)}{\sqrt{T^*}}, \quad \dot{m} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \sqrt{k} \frac{p_{co} F_{кр}}{(RT)_{co}}, \quad \dot{m} = \frac{p_{co} F_{кр}}{C_*}, \quad \dot{m} = \frac{p_k \varepsilon_k F_{кр}}{C_*}.$$

- а) Величиной расхода.
- б) Формой записи.
- в) Физическим смыслом.
- г) Ничем

29. Какие параметры надо измерить для определения экспериментального значения характеристической скорости C ?

- а) $p_k; P_{H=0}; F_{кр}$.
- б) $p_k; P_{H=0}; F_a$.
- в) $p_k; \dot{m}; F_{кр}$.
- г) $p_k; \dot{m}; F_a$.

30. По скольким выражениям при расчете идеального процесса получим одинаковые значения характеристической скорости C_* ?

$$C_* = I_{II} / K_{II}; \quad C_* = p_{co} F_{кр \cdot уд}; \quad C_* = I_H / K_H; \quad C_* = \sqrt{(RT)_{co}} \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa + 1}{2(\kappa - 1)}} \sqrt{\kappa}$$

- а) По двум.
- б) По трем.
- в) По четырем.
- г) Все ответы разные

31. Определить расход топлива ($O_2 + H_2$) поступающий в камеру при $p_k = 98 \cdot 10^5$ Па, если $\varepsilon_k = 0,88$, $F_{кр} = 100$ см², потери в камере сгорания 2%.

- а) 80 кг/с.
- б) 60 кг/с.
- в) 40 кг/с.
- г) 20 кг/с

32. Определить коэффициент $\varphi_{уд \cdot II} = I_{II} / I_{II \cdot T}$ при теоретическом значении удельного импульса $I_{II \cdot T} = 3400$ м/с, если при $p_H = 10^5$ Па тяга камеры $P_{H=0} = 30000$ Н; расход $\dot{m} = 10$ кг/с; удельная площадь среза сопла $F_{a \cdot уд} = 0,0023 \frac{м^2}{кг/с}$.

- а) 0,98.
- б) 0,95.
- в) 0,92.
- г) 0,89

33. Определить потери удельного импульса, если при $p_n = 10^5$ Па тяга составляет $P_{n=0} = 30000$ Н; расход $\dot{m} = 10$ кг/с. Принять $I_{п.т} = 3450$ м/с, $F_{а.уд} = 24,5 \frac{\text{м}^2}{\text{кг/с}}$.

- а) 4 %.
- б) 6 %.
- в) 8 %.
- г) 10 %

34. Определить коэффициент $\varphi_{уд-п} = I_{п} / I_{п.т}$ при $p_n = 10^5$ Па, если тяга составляет $P_{n=0} = 90000$ Н; расход $\dot{m} = 10$ кг/с. Известны $I_{п.т} = 3200$ м/с, $F_{а.уд} = 0,007 \frac{\text{м}^2}{\text{кг/с}}$.

- а) 0,98.
- б) 0,94.
- в) 0,90.
- г) 0,86

35. Какую тягу в пустоте создает камера при $p_{к2} = 100 \cdot 10^5$ Н/м² имеющая геометрические размеры: $F_{эд} = 0,06$ м²; $\bar{F}_k \approx 6$; $\bar{F}_a \approx 40$?

- а) ~ 0,6 МН.
- б) ~ 0,8 МН.
- в) ~ 1,1 МН.
- г) ~ 1,5 МН

36. Тяга камеры $P_n = 84 \cdot 10^4$ Н, коэффициент тяги $K_n = 1,75$. Какую тягу создаст камера, если отнять сверхзвуковую часть сопла?

- а) $75 \cdot 10^4$ Н.
- б) $60 \cdot 10^4$ Н.
- в) $45 \cdot 10^4$ Н.
- г) $30 \cdot 10^4$ Н

37. Тяга камеры $P_n = 1$ МН, коэффициент тяги $K_n = 2,05$. Какой вклад даёт сверхзвуковая часть сопла?

- а) ~ 0,3 МН.
- б) ~ 0,4 МН.
- в) ~ 0,5 МН.
- г) ~ 0,6 МН

38. В каком выражении для вычисления удельного импульса I_H имеется ошибка?

- а) $w_a + F_{a,y\delta}(p_a - p_H)$.
- б) $C_* K_{II} - C_* \bar{F}_a \cdot p_H / p_K \varepsilon_K$.
- в) $I_P \varphi_H$.
- г) $C_* K_{II} \varphi_H$.

39. Чему примерно равно теоретическое значение характеристической скорости C_* топлива азотный тетраксид и несимметричный диметилгидразин?

- а) 1500 м/с.
- б) 1750 м/с.
- в) 2000 м/с.
- г) 2250 м/с

40. В камеру для достижения давления p_K подаётся расход азотной кислоты и керосина, равный \dot{m} . Какой надо назначить расход, если перейти на топливо кислород и углеводород?

- а) $0,7 \cdot \dot{m}$.
- б) $0,85 \cdot \dot{m}$.
- в) $1 \cdot \dot{m}$.
- г) $1,15 \cdot \dot{m}$.

41. Укажите характерные значения удельного импульса в метрах в секунду: ЖРД; РДТТ; ЯРД; ЭРД.

- а) 2200...2500.
- б) 3500...4500.
- в) 8000...10000.
- г) 50000...100000

42. Сколько килограммов можно добавить к полезной нагрузке ракеты, если при модернизации возросли удельный импульс на 100 м/с и масса конструкции на 200 кг; массовый эквивалент 10 (кг·с)/м.

- а) 1000 кг.
- б) 800 кг.
- в) 600 кг.
- г) 400 кг

43. Двигатель работает при $p_k = 200 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и снабжён регулируемым двухпозиционным соплом, имеющим соответственно высотности $p_{н1} = 0,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и $p_{н2} = 0,1 \cdot 10^5 \text{ Па}$. При каком атмосферном давлении p_H следует осуществлять переключение сопла с первой позиции на вторую (рис. 2)?

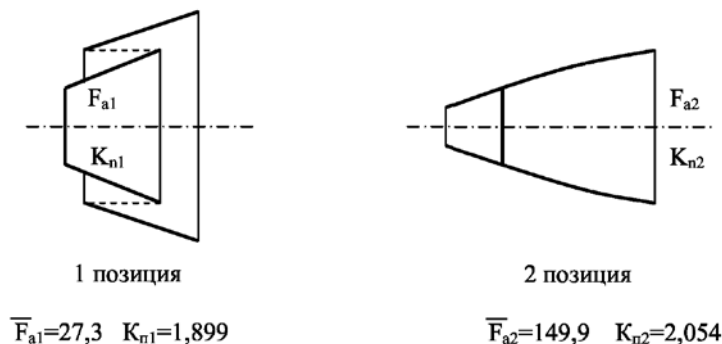


Рис. 2. Переключение сопла двигателя

- а) $\sim 0,1 \cdot 10^5 \text{ Па}$.
- б) $\sim 0,25 \cdot 10^5 \text{ Па}$.
- в) $\sim 0,45 \cdot 10^5 \text{ Па}$.
- г) $\sim 0,80 \cdot 10^5 \text{ Па}$

44. Какое топливо в настоящее время: энергетически наиболее мощное; используется на первой ступени космических ракетносителей; используется на второй ступени космических ракетносителей; используется на третьей ступени космических ракетносителей; используется на космических кораблях?

- а) Жидкий кислород + углеводород.
- б) Жидкий кислород + водород.
- в) Жидкий фтор + водород.
- г) Четырехокись азота + несимметричный диметилгидразин

45. Какая тяга будет зарегистрирована при стендовых испытаниях камеры двигателя (рис. 3) с высотным соплом ($H_p=10 \text{ км}$); камера помещена в барокамеру, давление в которой соответствует давлению на высоте $H=15 \text{ км}$?

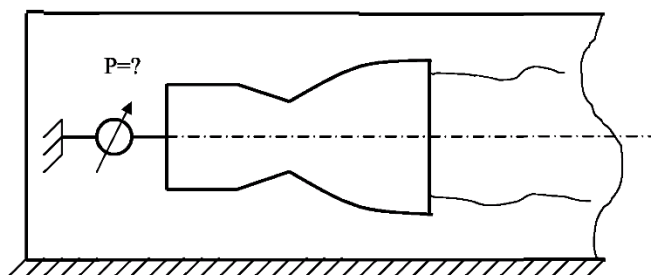


Рис. 3. Стендовые испытания камеры

- а) $P=P$ $H=0$ км.
- б) $P=P$ $H=10$ км.
- в) $P=P$ $H=15$ км.
- г) $P=P_{\pi}$

46. Какие из четырех соотношений определяют мощность ракетного двигателя:

$$\dot{m} \cdot w_a^2 / 2; \quad P_p I_p / 2; \quad \dot{m} \cdot w_a / 2; \quad C_* K_p \gamma$$

- а) 1; 2.
- б) 1; 4.
- в) 2; 3.
- г) 3; 4

47. Укажите летательные аппараты, на которых целесообразнее применять ЖРД с подачей компонентов: вытеснительной; турбонасосной без дожигания; турбонасосной с дожиганием одного газа; турбонасосной с дожиганием двух газов.

- а) Автоматические космические корабли.
- б) Орбитальные космические станции.
- в) Первая ступень ракетносителя.
- г) Верхние ступени ракетносителя

48. Когда вступил в силу Договор о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО)?

- а) 1970 г.;
- б) 1969 г.;
- в) 1972 г.;

49. Договор о нераспространении ядерного оружия разработан:

- а) Комитетом по разоружению ООН;
- б) Советом безопасности ООН;
- в) Конгрессом США;

50. Какие государства считаются «легитимными» ядерными державами (членами «ядерного клуба») согласно ДНЯО?

- а) США, Россия, Великобритания, Франция, Япония;
- б) США, Россия, Великобритания, Франция, Индия
- в) США, Россия, Великобритания, Франция, Китай

51. Когда был подписан последний Договор между Россией и США о мерах по дальнейшему сокращению и ограничению стратегических наступательных вооружений (ДСНВ)?

- а) 2010 г.;
- б) 2015 г.;
- в) 2011 г.;

52. Какие системы ядерных вооружений затронуты в ДСНВ?

- а) ракеты средней и меньшей дальности;
- б) нестратегические (тактические) ядерные системы;
- в) стратегические наступательные вооружения и ракеты средней и меньшей дальности

53. Когда и где были начаты первые советско-американские переговоры об ограничении стратегических вооружений?

- а) ноябрь 1969 г., Хельсинки;
- б) июнь 1969 г., Вена;
- в) ноябрь 1979 г., Хельсинки;

54. Какова цель сокращения стратегических наступательных вооружений?

- а) обеспечить поддержание безопасности сторон на низких уровнях группировок ядерных вооружений;
- б) обеспечить поддержание безопасности сторон на более низких уровнях группировок ядерных вооружений;
- в) обеспечить поддержание безопасности сторон.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Организация самостоятельной работы обучающихся: методические указания для студентов, осваивающих основные образовательные программы высшего образования – бакалавриата, специалитета, магистратуры: методические указания / сост. В.Н. Почечихина, И.Н. Крючкова, Е.И. Головина, В.Р. Демидов; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж, 2020. – 14 с.
2. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: Учебник для вузов/ М. В. Добровольский; под ред. Д.А. Ягодникова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: МГТУ им. Баумана, 2006. - 488 с.
3. Агрегаты регулирования жидкостных ракетных двигательных установок: учебное пособие /Ю.И. Васютин и др.; под ред. Д.А. Ягодникова. – 2-е изд., испр. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 223 с.
4. СТН ВГТУ- 62-2007. Текстовые документы (курсовые работы (проекты), рефераты, отчеты по лабораторным работам, контрольные работы). Правила оформления. – Воронеж: ВГТУ, 2007. – 53 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Методические рекомендации по освоению учебного материала по конспекту лекций и дополнительной литературе.....	5
2 Методические рекомендации по подготовке к практическому занятию	5
3 Методические рекомендации по подготовке к выполнению лабораторных работ и их защите	6
4 Методические рекомендации к выполнению домашних заданий	6
5 Методические рекомендации к самостоятельному изучению отдельной темы с использованием основной и дополнительной литературы.....	7
6 Методические указания к подготовке информационного сообщения	8
7 Контрольные вопросы и задачи для самостоятельной работы.....	8
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	21

КОНСТРУИРОВАНИЕ АГРЕГАТОВ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению самостоятельных работ по дисциплине
«Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей»
для студентов направления 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных
двигателей» (профиль «Проектирование жидкостных ракетных двигателей»)
Очной формы обучения

Составители:

Гуртовой Андрей Александрович

Шматов Дмитрий Павлович

Дроздов Игорь Геннадьевич

Демьяненко Юрий Васильевич

Компьютерный набор:

Левина Анастасия Витальевна

Отпечатано в авторской редакции

Подписано к изданию 2021

Объем данных 520 Кб

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