

УДК 621.454.2 + 629.7.036.54(075)
ББК 39.651.11+39.63я73
К88

Рецензенты:

В. В. Косицын, канд. техн. наук, ведущий специалист КБ «Полет» –
филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева»;

В. А. Федорук, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
«Физика» ФГБОУ ВПО «СибАДИ»

Куденцов, В. Ю.

К88 Пневмогидравлические системы и автоматика жидкостных ракетных
двигательных установок : учеб. пособие / В. Ю. Куденцов, А. Б. Яковлев ;
Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2015. – 220 с. : ил.

ISBN 978-5-8149-2009-6

Изложены основы теории, расчета и проектирования пневмогидравлических систем (ПГС) и агрегатов автоматики жидкостных ракетных двигательных установок (ЖРДУ). Рассмотрены основные принципы построения систем управления и расстановки агрегатов управления ЖРДУ. Уделено внимание описанию гидродинамики внутрибаковых процессов, вопросам выбора основных параметров ПГС. Описаны основные методы контроля герметичности ПГС.

Предназначено студентам, обучающимся по специальности 24.05.02 (160700.65) «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», при изучении курса «Конструирование жидкостных ракетных двигательных установок». Может быть полезно студентам, обучающимся по специальностям (направлениям подготовки) 24.05.01 и 24.03.01, при изучении курса «Пневмогидросистемы и автоматика ЛА», аспирантам и специалистам, интересующимся проблемами создания ПГС ЖРДУ.

УДК 621.454.2 + 629.7.036.54(075)
ББК 39.651.11+39.63я73

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Омского государственного технического университета*

ISBN 978-5-8149-2009-6

© ОмГТУ, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ЖИДКОСТНЫЕ РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ	4
1.1. Области применения и классификация ЖРДУ	4
1.2. Требования к ЖРДУ	12
2. СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЖРДУ	27
2.1. Принципы устройства ЖРДУ	27
2.2. Системы управления ДУ и ее агрегаты	36
2.3. Системы управления конечными параметрами траектории движения ЛА	38
2.3.1. Система регулирования кажущейся скорости	39
2.3.2. Система опорожнения баков	41
2.4. Системы управления процессом функционирования ДУ	45
2.4.1. Условная принципиальная обобщенная схема регулятора тяги	47
2.4.2. Условная принципиальная обобщенная схема стабилизатора соотношения компонентов топлива	48
2.4.3. Правила расстановки регуляторов	49
2.5. Принципиальные схемы расстановки регуляторов	51
2.5.1. ЖРДУ с автономным топливом для питания турбины	51
2.5.2. ЖРДУ с насосной системой подачи без дожигания	53
2.5.3. ЖРДУ с насосной системой подачи с дожиганием генераторного газа	56
3. РЕГУЛЯТОРЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЖРДУ	62
3.1. Классификация регуляторов ЖРДУ	62
3.2. Пневмогидравлический мембранный регулятор давления прямого действия	66
3.3. Гидромеханический сильфонный регулятор давления прямого действия	67
3.4. Гидромеханический плунжерный регулятор расхода прямого действия (исполнение 1)	69
3.5. Гидромеханический плунжерный регулятор расхода прямого действия (исполнение 2)	70
3.6. Регулятор расхода с гидромеханическим усилителем	71
3.7. Регулятор давления с гидромеханическим усилителем	73
3.8. Регулятор давления с пневмомеханическим усилителем	75
3.9. Газовые редукторы	76
3.9.1. Устройство газовых редукторов	76
3.9.2. Статические характеристики газовых редукторов	80

4. КОНЕЧНЫЕ АВТОМАТЫ ЖРДУ	87
4.1. Классификация конечных автоматов ЖРДУ	87
4.2. Мембрана принудительного прорыва	94
4.3. Обратный и предохранительный клапаны	96
4.4. Главные топливные клапаны ЖРДУ	97
4.5. Заправочно-дренажный топливный клапан	103
4.6. Электропневмоклапаны	104
4.7. Клапанный распределитель расходов топлива с механическим приводом	108
4.8. Уравнение движения тарели гидропневмоклапана	109
4.9. Гидравлический расчет агрегатов автоматики и выбор конструкции уплотнений	113
5. ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЖРДУ	120
5.1. Назначение, состав и особенности устройства ПГС	120
5.2. Топливные баки	123
5.2.1. Конструкция топливных баков	123
5.2.2. Устройство топливных баков	126
5.2.3. Арматура и устройства топливных баков	128
5.2.4. Массовые характеристики топливных баков	133
5.3. Трубопроводы	137
5.3.1. Назначение трубопроводов	137
5.3.2. Конструкции трубопроводов и элементы их крепления	138
5.3.3. Расчет трубопроводов	140
5.3.4. Потери давления в магистралях	142
5.4. Заборные устройства	143
5.4.1. Физическая картина прорыва газа в сливной трубопровод	143
5.4.2. Воронкообразование без вращения при сливе жидкости через донное отверстие	144
5.4.3. Предотвращение кавитации в заборном устройстве	145
5.4.4. Конструкции заборных устройств	148
5.5. Системы наддува	153
5.5.1. Назначение и особенности устройства систем наддува	153
5.5.2. Основные требования к системам наддува	157
6. РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ В ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	160
6.1. Процессы в топливных баках ракет при их наддуве	160
6.2. Основные уравнения термодинамического тела переменной массы	163
6.3. Определение расхода газа при его истечении	167
6.4. Опорожнение емкости через отверстие постоянной площади	169
6.5. Опорожнение емкости через отверстие переменной площади	173
6.6. Опорожнение емкости через газовый редуктор	175

6.7. Наполнение емкости постоянного объема	179
6.8. Наполнение емкости переменного объема	183
6.9. Динамика работы системы регулирования давления наддува топливных баков	184
7. НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	189
7.1. Запуск ЖРДУ	190
7.2. Останов ЖРДУ	194
7.3. Способы воспламенения горючих смесей	201
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	212
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	214