

УДК 621.515(075)

ББК 31.762.22я73

В17

Рецензенты:

*М. Б. Хадиев*, профессор кафедры «Компрессорные машины и установки»  
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский  
технологический университет», д-р техн. наук, профессор;

*В. Н. Сергеев*, доцент кафедры «Вакуумная и компрессорная техника»  
ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,  
канд. техн. наук, доцент;

*Ю. В. Кожухов*, заведующий кафедрой «Компрессорная, вакуумная  
и холодильная техника» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого», канд. техн. наук, доцент

**Ваняшов, А. Д.**

В17 Расчет и конструирование центробежных компрессорных машин : учеб.  
пособие / А. Д. Ваняшов, Г. Г. Кустиков ; Минобрнауки России, ОмГТУ. –  
2-е изд., испр. и доп. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. – 256 с. : ил.

ISBN 978-5-8149-2478-0

Во 2-м издании учебного пособия рассмотрены вопросы термогазодинамического расчета, конструирования и прочностного анализа элементов проточной части центробежных компрессоров; описано термогазодинамическое проектирование проточной части с применением методики расчета через безразмерные параметры; приведены примеры выполнения термогазодинамических и прочностных расчетов.

Может использоваться при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ обучающимися по направлению бакалавриата и магистрантами дневной и заочной форм обучения по специальностям: 15.03.02 (15.04.02) «Технологические машины и оборудование», 16.03.03 (16.04.03) «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 21.03.01 «Нефтегазовое дело».

УДК 621.515(075)

ББК 31.762.22я73

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

ISBN 978-5-8149-2478-0

© ОмГТУ, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ .....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ МАШИН .....	10
1.1. Исходные данные и техническое задание на проектирование. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ .....	10
1.1.1. Исходные данные.....	10
1.1.2. Составление технического задания .....	14
1.1.3. Определение начальных условий.....	14
1.2. РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЦКМ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТУПЕНЕЙ.....	15
1.2.1. Определение числа промежуточных охлаждений .....	15
1.2.2. Определение параметров газа на входе и выходе секции для выбранного варианта охлаждения .....	20
1.2.3. Выбор вариантов компоновки проточной части ЦКМ. Определение числа ступеней и числа оборотов ротора .....	22
1.3. РАСЧЕТ РАБОЧИХ КОЛЕС .....	36
1.4. РАСЧЕТ ДИФFUЗОРОВ .....	46
1.4.1. Расчет безлопаточного диффузора .....	46
1.4.2. Расчет лопаточного диффузора.....	49
1.5. РАСЧЕТ ПОВОРОТНОГО КОЛЕНА И ОБРАТНОГО НАПРАВЛЯЮЩЕГО АППАРАТА .....	52
1.6. РАСЧЕТ ВЫХОДНЫХ УСТРОЙСТВ .....	57
1.6.1. Симметричная улитка с трапецевидным поперечным сечением .....	59
1.6.2. Симметричная улитка с круглым поперечным сечением .....	61
1.6.3. Симметричная улитка с прямоугольным поперечным сечением .....	62
1.6.4. Кольцевая сборная камера с прямоугольным поперечным сечением .....	63
1.6.5. Кольцевая сборная камера с круглым поперечным сечением .....	64
1.6.6. Определение параметров газа на выходе из компрессора .....	65
1.6.7. Расчет нагнетательного патрубка .....	65
1.7. ОЦЕНКА КОРРЕКТНОСТИ ЗАДАНИЯ КПД СТУПЕНЕЙ.....	66
2. КОНСТРУКТИВНЫЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ РАСЧЕТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ МАШИН .....	68
2.1. КОНСТРУКТИВНЫЕ РАСЧЕТЫ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПРЕССОРА .....	68
2.1.1. Определение осевых усилий.....	68
2.1.2. Определение размеров думмиса и упорного подшипника.....	72
2.1.3. Определение конструктивных размеров проточной части в меридиональной и радиальной плоскостях.....	75

2.2. Прочностные расчеты элементов компрессора .....	85
2.2.1. Расчет дисков рабочего колеса на прочность .....	86
2.2.2. Расчет лопатки рабочего колеса на прочность .....	104
2.2.3. Расчет заклепок лопаток на срезающие напряжения .....	106
2.2.4. Расчет корпусных элементов компрессора .....	107
2.3. РАСЧЕТ КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА.....	114
2.3.1. Метод Донкерли .....	114
2.3.2. Метод Рэллея .....	116
2.3.3. Метод приведения.....	119
2.3.4. Приближенные оценочные формулы.....	125
3. ПРИМЕРЫ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ, КОНСТРУКТИВНЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЕТОВ.....	126
3.1. ПРИМЕР ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НЕОХЛАЖДАЕМОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА .....	126
3.1.1. Исходные данные .....	126
3.1.2. Техническое задание на проектирование .....	126
3.1.3. Определение термодинамических свойств природного газа .....	126
3.1.4. Расчет располагаемой мощности газотурбинной установки.....	128
3.1.5. Определение параметров в начальном сечении компрессора.....	128
3.1.6. Расчет производительности компрессора .....	129
3.1.7. Выбор схемы компрессора и определение основных параметров ступеней .....	130
3.1.8. Вариантные расчеты по выбору основных параметров ступеней компрессора .....	130
3.1.9. Расчет рабочих колес .....	136
3.1.10. Расчет диффузоров.....	142
3.1.11. Расчет поворотного колена и обратного направляющего аппарата .....	147
3.1.12. Расчет выходного устройства .....	149
3.1.13. Оценка корректности задания КПД ступеней.....	151
3.1.14. Описание конструкции спроектированного компрессора.....	153
3.2. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКТИВНЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЕТОВ .....	154
3.2.1. Пример расчета осевого усилия и размеров устройств, его компенсирующих .....	154
3.2.2. Конструирование лопаточных аппаратов рабочего колеса, диффузора и обратного направляющего аппарата .....	162
3.2.3. Расчет на прочность основного и покрывающего дисков .....	163
3.2.4. Расчет ротора на виброустойчивость.....	173
3.3. ПРИМЕР ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОХЛАЖДАЕМОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА .....	184
3.3.1. Исходные данные .....	184
3.3.2. Техническое задание на проектирование .....	185
3.3.3. Термодинамические свойства воздуха .....	185
3.3.4. Объемная и массовая производительность компрессора .....	185

3.3.5. Определение числа промежуточных охлаждений .....	186
3.3.6. Выбор схемы компрессора и определение основных параметров ступеней.....	188
3.3.7. Определение параметров газа на входе и выходе секций .....	188
3.3.8. Расчет основных параметров ступеней секций компрессора .....	190
3.3.9. Расчет рабочих колес.....	195
3.3.10. Расчет диффузоров .....	204
3.3.11. Расчет поворотного колена и обратного направляющего аппарата.....	209
3.3.12. Расчет выходного устройства.....	212
3.3.13. Описание конструкции спроектированного компрессора .....	215
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	217
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	219
Приложения .....	221
Приложение А. Основные физические свойства газов .....	223
Приложение Б. Технические данные синхронных электродвигателей .....	226
Приложение В. Инженерный прочностной анализ вращающихся деталей компрессора в программе ANSYS.....	228
Приложение Г. Примеры чертежей спроектированного неохлаждаемого компрессора природного газа.....	236
Приложение Д. Примеры чертежей спроектированного охлаждаемого воздушного компрессора .....	242
Приложение Е. Типовые исходные данные.....	251