

УДК 533.6(076)
ББК 22.213я7
Р24

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Казанского национального исследовательского технологического университета*

*Рецензенты:
д-р техн. наук, проф. К. Х. Гильфанов
д-р техн. наук, проф. Ю. Ф. Гортышов*

Авторы: Д. И. Сагдеев, С. В. Визгалов, И. М. Абдулагатов, В. А. Аляев
Р24 Расчет истечения газов и паров при проектировании конусного сопла Лаваля : практикум /
Д. И. Сагдеев, С. В. Визгалов, И. М. Абдулагатов, В. А. Аляев; Минобрнауки России,
Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2022. – 128 с.
ISBN 978-5-7882-3187-7

Изложены основные теоретические положения, рассмотрены расчетные соотношения истечения идеального и реального газов и паров из комбинированного конусного сопла Лаваля. Приведено описание пакета CoolPack, позволяющего рассчитывать и определять параметры узловых точек процессов истечения газов и паров, а также физико-химические и теплофизические свойства газов и паров в широком диапазоне температур и давлений. Представлены варианты расчетных заданий, справочные материалы и образец оформления отчета по курсовой работе с использованием табличного процессора Excel.

Предназначен для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование».

Подготовлен на кафедре вакуумной техники электрофизических установок.

**УДК 533.6(076)
ББК 22.213я7**

*Дамир Исмагилович Сагдеев, Сергей Владимирович Визгалов,
Ильмутдин Магомедович Абдулагатов, Валерий Алексеевич Аляев*

РАСЧЕТ ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗОВ И ПАРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНУСНОГО СОПЛА ЛАВАЛЯ

Редактор Е. И. Шевченко

Подписано в печать 26.08.2022
Бумага офсетная
8,0 уч.-изд. л.

Печать цифровая
Тираж 400 экз.

Формат 60×84 1/16
7,44 усл. печ. л.
Заказ 82/22

Издательство Казанского национального исследовательского
технологического университета

Отпечатано в офсетной лаборатории Казанского национального
исследовательского технологического университета

420015, Казань, К. Маркса, 68

ISBN 978-5-7882-3187-7

© Сагдеев Д. И., Визгалов С. В., Абдулагатов И. М.,
Аляев В. А., 2022
© Казанский национальный исследовательский
технологический университет, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗОВ И ПАРОВ.....	10
1.1. Первый закон термодинамики в применении к потоку движущегося газа и пара	10
1.2. Работа проталкивания. Дальнейшее развитие уравнения первого закона термодинамики для потока газа или пара	11
1.3. Располагаемая работа при истечении газа или пара	14
1.4. Адиабатный процесс истечения газа или пара	17
1.5. Истечение капельной жидкости	18
1.6. Скорость истечение и секунднй расход идеального газа из суживающегося сопла.....	19
1.7. Анализ уравнения массового секундного расхода идеального газа и критическое давление.....	21
1.8. Критическая скорость и максимальнй секунднй расход идеального газа	23
1.9. Основные условия течения идеального газа по каналам переменного сечения	26
1.10. Случаи истечения идеального газа из суживающегося сопла.....	28
1.11. Истечение идеального газа из комбинированного сопла Лавалья	31
1.12. Истечение газов с учетом трения	32
1.13. Истечение водяного пара – реального газа	33
1.14. Процессы изменения состояния водяного пара	36
<i>Контрольные вопросы</i>	41
2. ВОДЯНОЙ ПАР — РАБОЧЕЕ ТЕЛО ДЛЯ ПАРОЭЖЕКТОРНЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ	43
2.1. Основные понятия и определения.....	43
2.2. Особенности <i>pv</i> -диаграммы водяного пара	45
2.3. Основные параметры жидкости и сухого насыщенного пара. Теплота парообразования.....	47
2.4. Основные параметры влажного насыщенного водяного пара	49
2.5. Основные параметры перегретого пара.....	50
2.6. Энтропия воды и водяного пара	51
2.7. <i>T-s</i> -диаграмма водяного пара	53
2.8. Таблица водяного пара	55
2.9. <i>h-s</i> -Диаграмма водяного пара.....	55
<i>Контрольные вопросы</i>	57

3. ТЕЧЕНИЕ ГАЗА В ЭЛЕМЕНТАХ ПАРОЭЖЕКТОРНЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ	59
3.1. Принципы расчета газовых потоков в элементах проточной части. Уравнение обращения воздействий	59
3.2. Режимы течения газа в канале, имеющем горло	62
3.3. Сопло Лаваля и его разновидности при течении газов и паров	64
3.3.1. Геометрическое воздействие при течении газов и паров с изменением сечения	64
3.3.2. Расходное воздействие (расходное сопло) при течении газов и паров с подводом и отводом массы	66
3.3.3. Тепловое воздействие (тепловое сопло) при течении газов и паров с подводом и отводом тепла	68
3.4. Анализ знаков для оценки режимов течения газов и паров в пароэжекторном вакуумном насосе	69
3.5. Течение газов и паров в сужающихся и расширяющихся каналах....	72
<i>Контрольные вопросы</i>	75
4. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ПАКЕТ COOLPACK ДЛЯ РАСЧЕТА ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗОВ И ПАРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНУСНОГО СОПЛА ЛАВАЛЯ	76
4.1. Назначение и основные возможности программы CoolPack.....	77
4.2. Порядок установки программы	78
4.3. Структура меню и панели инструментов	78
4.4. Работа с диаграммой $h-s$ для газов и паров	81
4.4.1. Выбор газа, пара и настройка диапазона рабочих параметров диаграммы	82
4.4.2. Сохранение листа диаграммы, выход из программы, ошибочные ситуации, настройка печати и печать листа.....	86
4.4.3. Изменение масштаба отображения диаграммы на экране	88
4.4.4. Рисование линий, ввод текстовых строк и их редактирование	89
4.4.5. Форматирование поля диаграммы и ее элементов.....	93
4.5. Работа со справочником термодинамических и теплофизических свойств холодильных агентов.....	97
<i>Контрольные вопросы</i>	102
5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНОГО ЗАДАНИЯ	103
5.1. Цель расчетного задания	103
5.2. Назначение комбинированного конусного сопла Лаваля.....	103
5.3. Основные расчетные соотношения	105
5.4. Порядок выполнения расчетного задания.....	108
<i>Контрольные вопросы</i>	109

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	110
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	111
Приложение 1	111
Приложение 2	112
Приложение 3	113
Приложение 4	117
Приложение 5	118
Приложение 6	119
Приложение 7	121
Приложение 8	122
Приложение 9	123
Приложение 10	126
Приложение 11	127
Приложение 12	128