

А.А.Александров  
К.А.Орлов  
В.Ф.Очков

# Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики

СПРАВОЧНИК



А.А.Александров  
К.А.Орлов  
В.Ф.Очков

# **Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики**

**СПРАВОЧНИК**

3-е издание, стереотипное



Москва  
Издательский дом МЭИ  
2022

УДК 621.1.36.7 (035.5)  
ББК 31.3я21  
А 465

**Александров А.А.**

А 465 Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики : справочник / А.А. Александров, К.А. Орлов, В.Ф. Очков. — 3-е изд., стер. — М.: Издательский дом МЭИ, 2022. — 226 [8] с.: ил.

ISBN 978-5-383-01485-1

Приведены таблицы значений удельного объема, энтальпии, энтропии, изобарной теплоемкости, скорости звука, поверхностного натяжения, динамической вязкости, теплопроводности, числа Прандтля, статической диэлектрической постоянной, показателя преломления, ионного произведения для воды и водяного пара, рассчитанных по уравнениям, рекомендованным Международной ассоциацией по свойствам воды и водяного пара для применения в промышленных расчетах. Таблицы термодинамических свойств охватывают область параметров от температуры 0 °С до 800 °С при давлениях до 100 МПа (до 2000 °С при давлениях до 50 МПа), включая состояния насыщения и метастабильного переохлажденного пара.

Приведены также таблицы значений внутренней энергии, энтальпии и энтропии в идеально-газовом состоянии для веществ, являющихся компонентами продуктов сгорания: кислорода, азота, атмосферного воздуха, диоксида углерода, оксида углерода, диоксида серы, оксида азота, диоксида азота, водяного пара и водорода. Таблицы представлены для диапазона температур от –50 до 2200 °С.

Представлены все уравнения, использованные при составлении таблиц, и адреса сайтов в Интернете, где данные уравнения открыты для интерактивной работы с ними. Справочник дополнен интерактивным сайтом Интернета с адресом <http://twf.mpei.ru/rbtpp>.

Справочник предназначен для работников проектных организаций, инженерно-технического персонала тепловых электростанций и промышленных энергетических установок, может служить также в качестве учебного пособия для студентов высших и средних технических учебных заведений.

УДК 621.1.36.7 (035.5)

ББК 31.3я21

**Thermophysical properties of working substances of thermal engineering: reference book / A.A. Alexandrov, K.A. Orlov, V.F. Ochkov. – M.: MPEI Publishing House, 2022.— 226 p.**

The tables of values of specific volume, specific enthalpy, specific entropy, specific isobaric heat capacity, sound velocity, surface tension, dynamic viscosity, heat conductivity, Prandtl number, static dielectric constant, refractive index and ionization constant are presented for water and steam. The tables are calculated by equations recommended for industrial calculations by International Association for the Properties of Water and Steam. The tables of thermodynamic properties embrace the region of parameters for temperatures from 0°C to 800°C at the pressures up to 100 MPa and up to 2000°C at pressures up to 50 MPa including saturation states and states of metastable subcooled steam.

The tables are presented also for values of specific internal energy, specific enthalpy and specific entropy in ideal-gas state for substances which are the components of fuel combustion products: oxygen, nitrogen, atmospheric air, carbon dioxide, carbon oxide, sulfur dioxide, nitrogen oxide, nitrogen dioxide, steam and hydrogen. The tables embrace interval of temperatures from –50°C to 2200°C.

All equations used for calculations of tables are presented together with addresses of sites in Internet where these equations are opened for interactive work.

The reference book is supplemented with Internet interactive site with the address <http://twf.mpei.ru/rbtpp>.

The book is destined to workers of designing organizations, engineering-technical personal of power plants and also may serves as educational supply for students of technical universities and colleges.



# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие к первому изданию</b> .....	3
<b>Предисловие ко второму изданию</b> .....	4
<b>1. Уравнения для теплофизических свойств воды и водяного пара</b> .....	5
1.1. Термодинамические свойства .....	5
1.2. Динамическая вязкость .....	14
1.3. Теплопроводность .....	15
1.4. Поверхностное натяжение .....	17
1.5. Статическая диэлектрическая постоянная .....	17
1.6. Коэффициент преломления .....	18
1.7. Ионное произведение .....	18
<b>2. Уравнения для термодинамических свойств газов</b> .....	19
<b>3. Описание таблиц свойств воды, водяного пара и индивидуальных газов</b> .....	23
3.1. Общая характеристика таблиц .....	23
3.2. Единицы теплофизических величин, представленных в таблицах .....	24
<b>4. Таблицы теплофизических свойств воды, водяного пара и термодинамических свойств газов и их смесей</b> .....	26
<i>Таблица I.</i> Термодинамические свойства воды и водяного пара в состоянии насыщения (по температуре) .....	26
<i>Таблица II.</i> Термодинамические свойства воды и водяного пара в состоянии насыщения (по давлению) .....	35
<i>Таблица III.</i> Термодинамические свойства воды и водяного пара .....	42
<i>Таблица IV.</i> Термодинамические свойства воды и водяного пара при высоких температурах (от 800 до 2000 °С) .....	106
<i>Таблица V.</i> Термодинамические свойства метастабильного переохлажденного водяного пара .....	112
<i>Таблица VI.</i> Истинная массовая изобарная теплоемкость воды и водяного пара ...	119
<i>Таблица VII.</i> Скорость звука в воде и водяном паре .....	123
<i>Таблица VIII.</i> Поверхностное натяжение воды, изобарная теплоемкость, теплопроводность, динамическая вязкость, число Прандтля для воды и водяного пара в состоянии насыщения .....	127
<i>Таблица IX.</i> Динамическая вязкость воды и водяного пара .....	128
<i>Таблица X.</i> Теплопроводность воды и водяного пара .....	132
<i>Таблица XI.</i> Число Прандтля для воды и водяного пара .....	136
<i>Таблица XII.</i> Отрицательный десятичный логарифм ионного произведения воды ..	140
<i>Таблица XIII.</i> Диэлектрическая проницаемость воды и водяного пара .....	144
<i>Таблица XIV.</i> Показатель преломления воды и водяного пара .....	148
<i>Таблица XV.</i> Термодинамические свойства водорода $H_2$ .....	156
<i>Таблица XVI.</i> Термодинамические свойства кислорода $O_2$ .....	160
<i>Таблица XVII.</i> Термодинамические свойства азота $N_2$ .....	164
<i>Таблица XVIII.</i> Термодинамические свойства диоксида углерода $CO_2$ .....	168
<i>Таблица XIX.</i> Термодинамические свойства диоксида серы $SO_2$ .....	172
<i>Таблица XX.</i> Термодинамические свойства водяного пара $H_2O$ .....	176
<i>Таблица XXI.</i> Термодинамические свойства диоксида азота $NO_2$ .....	180

<i>Таблица XXII.</i> Термодинамические свойства оксида углерода CO . . . . .	184
<i>Таблица XXIII.</i> Термодинамические свойства оксида азота NO . . . . .	188
<i>Таблица XXIV.</i> Термодинамические свойства аргона Ar . . . . .	192
<i>Таблица XXV.</i> Термодинамические свойства сухого воздуха . . . . .	196
<i>Таблица XXVI.</i> Термодинамические свойства влажного воздуха с влагосодержанием 10 г вод. пара/кг сух. возд. . . . .	200
<i>Таблица XXVII.</i> Термодинамические свойства влажного воздуха с относительной влажностью 60 % при давлении 760 мм рт. ст. и температуре 15 °С . . . . .	204
<i>Таблица XXVIII.</i> Термодинамические свойства продуктов сгорания метана . . . . .	208
<b>Приложения</b> . . . . .	212
<i>Приложение 1.</i> Зависимость удельной энтальпии воды и водяного пара от температуры и давления . . . . .	212
<i>Приложение 2.</i> Зависимость обратной величины изобарной теплоемкости воды и водяного пара от температуры и давления . . . . .	213
<i>Приложение 3.</i> Зависимость скорости звука в воде и водяном паре от температуры и давления . . . . .	214
<i>Приложение 4.</i> Зависимость динамической вязкости воды и водяного пара от температуры и давления . . . . .	215
<i>Приложение 5.</i> Зависимость теплопроводности воды и водяного пара от температуры и давления . . . . .	216
<i>Приложение 6.</i> Зависимость обратной величины числа Прандтля воды и водяного пара от температуры и давления . . . . .	217
<i>Приложение 7.</i> Зависимость коэффициента изоэнтропии воды и водяного пара от температуры и энтропии . . . . .	218
<i>Приложение 8.</i> Листинг компьютерного документа математического пакета Mathcad для расчета состава продуктов сгорания метана . . . . .	219
<b>Список литературы</b> . . . . .	223