



УДК 621.1.016

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА НА ОСНОВЕ ФОРМУЛЯЦИИ IAPWS-IF97 В ПРОГРАММЕ WATER-STEAM CALCULATOR

COMPARATIVE ANALYSIS OF OBTAINED VALUES OF WATER AND WATER PARAMETERS BASED ON FORMULATION OF IAPWS-IF97 IN WATER-STEAM CALCULATOR PROGRAM

Селезнев Евгений Сергеевич, магистрант каф. «Тепловых электрических станций», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: seleznev-ekb@mail.ru, Тел.: +7(902)446-23-27

Худяков Павел Юрьевич, к.ф.-м.н., доцент каф. «Тепловых электрических станций», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: lumen_xp@mail.ru. Тел.: +7(904)382-71-60

Evgeny S. Seleznev, Master student, Department «Thermal Power Plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: seleznev-ekb@mail.ru. Ph.: +7(902)446-23-27

Pavel Yu. Khudyakov, Cand. Sc. (Phys.-Math.), Assoc. Prof., Department «Thermal Power Plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: lumen_xp@mail.ru. Ph.: +7(904)382-71-60

Аннотация: В работе приведены результаты оценки отклонений вычисления параметров воды и водяного пара в собственной программе Water-Steam Calculator (WSC). Произведено сравнение результатов с таблицами свойств воды и водяного пара и программой WaterSteamPro. Оценены погрешности, и доказана метрологическая точность применения в инженерных расчетах динамически подключаемой библиотеки в основе Water-Steam Calculator.

Abstract: The paper presents the results of estimating deviations in the computation of water and steam parameters in the proprietary Water-Steam Calculator (WSC) program. The results are compared with the water and water vapor properties tables and the WaterSteamPro program. The errors are estimated, and the metrological accuracy of application in engineering calculations of the dynamically connected library in the basis of the Water-Steam Calculator is proved.

Ключевые слова: IAPWS-IF97; свойства воды и водяного пара; таблицы термодинамических свойств; автоматизированный расчет; сравнительный анализ; погрешность вычислений.

Key words: IAPWS-IF97; properties of water and water vapor; tables of thermodynamic properties; automated calculation; comparative analysis; calculation error.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В расчете тепловых схем ТЭС одной из важных составляющих является задача максимально точно определить параметры воды или водяного пара в той или иной точке схемы. Разработанная собственная программа Water-Steam Calculator [1] на основе действующей формуляции IAPWS-IF97 [2] с внутренней динамически подключаемой библиотекой *.dll и позволяет вычислить эти параметры, используя ее в любом стороннем ПО, поддерживающем такие библиотеки. Чтобы оценить точность вычислений разработанной библиотеки, необходимо было произвести сравнение результатов, полученных в ней, с результатами программы WaterSteamPro [3]

и таблицами термодинамических свойств воды и водяного пара [4].

ОБЛАСТИ ПРОВЕРКИ

Для проверки правильности работы библиотеки были выбраны следующие области формуляции IAPWS-IF97: 1 – вода; 2 – водяной пар; 4 – линия насыщения. Рассматриваемые области показаны на рис. 1.

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

В рамках подготовительного этапа были созданы скрипты для MATLAB. Например, в одном из них автоматически генерируются 50 произвольных точек по давлению и температуре в 1-й и 2-й областях

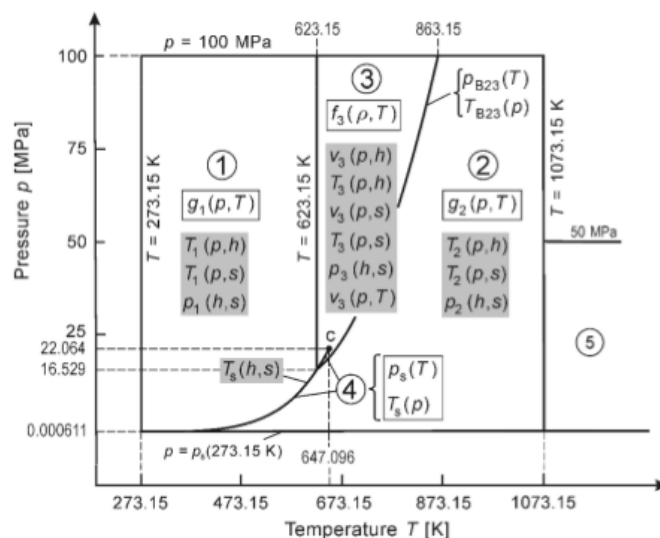


Рис. 1. Области формуляции IAPWS-IF97

диаграммы. Для линии насыщения формируются 15 точек по давлению в пределах 1–15 МПа. Созданы команды для вычисления необходимых параметров по имеющимся точкам данных.

ВЫЧИСЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ

Имея таблицу произвольных значений из 50 точек по давлению и температуре для 1–2 областей диаграммы, были автоматически получены значения энтальпии и энтропии воды и водяного пара при помощи собственной библиотеки. По этим же точкам найдены параметры в программе WaterSteamPro и в таблицах свойств.

Для вычисления параметров используются внутренние функции библиотеки. Они способны автоматически определить в какой области находится та или иная заданная пользователем точка диаграммы. Далее, определив область, производится расчет необходимых параметров. Для нахождения энтальпии, например, используется функция $all_hPT(p,T)$ в зависимости от заданных давления (МПа) и температуры (К). Для нахождения энтропии необходимо использовать функцию $all_sPT(p,T)$ аналогичным образом. После сравнения полученных данных, можно прийти к выводу, что расхождения между собственной библиотекой Water-Steam Calculator и программой WaterSteamPro нет, так как они созданы на основе одной и той же формуляции IAPWS-IF97. И, следовательно, погрешность вычислений оценивается в 0%. Значения параметров по классическим таблицам термодинамических свойств не отличаются от предыдущих результатов расчета. Так, отклонений по энтальпии и энтропии от табличных значений не наблюдается. Среднеквадратичное (стандартное) отклонение при аналогичном сравнении для энтальпии составляет 0%, а для энтропии – 0%.

Линия насыщения (область 4) представляет собой как подобласть воды в состоянии насыщения, так и подобласть насыщенного пара, так как линия является границей между 1-й и 2-й областями. Энтальпии находятся для этих двух подобластей разными функциями: $hl_ps(p)$ и $hv_ps(p)$ соответственно. Расхождения в результатах Water-Steam Calculator и WaterSteamPro, как и ранее, не выявлено. Погрешность вычислений (максимальное отклонение) по сравнению с термодинамическими таблицами на уровне 0% как для воды, так и для водяного пара. Среднеквадратичные отклонения отсутствуют.

ВЫВОДЫ

Проанализировав полученные данные по погрешностям расчетов, можно сделать вывод, что программа Water-Steam Calculator и внутренняя библиотека функций работоспособны, и значения параметров не имеют отклонений от табличных значений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Water-Steam Calculator: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / П.Ю. Худяков, А.Ю. Кисельников, Е.С. Селезнев. — №2018613649; дата регистрации 21.03.2018 г.
2. Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 // The International Association for the Properties of Water and Steam. URL: <http://www.iapws.org/relguide/IF97-Rev.pdf> (дата обращения: 15.03.2018).
3. WaterSteamPro [Электронный ресурс] URL: <http://www.wsp.ru/ru/> (дата обращения: 20.04.2018).
4. Александров А.А., Орлов К.А., Очков В.Ф. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики: Справочник. М.: Издательство МЭИ, 2009. 232 с.