

УДК 621.1.36.7(035.5)

Справочная информация

Свойства воды и водяного пара: сетевые, открытые, интерактивные IT-ресурсы

Очков В.Ф.^{1,2,3}, Орлов К.А.^{1,2}, Александров А.А.¹, Очков А.В.¹

Национальный исследовательский университет «МЭИ»¹

Объединенный институт высоких температур РАН²

Аннотация

Рассмотрены новые тенденции при публикации данных о теплофизических свойствах веществ на примере воды и водяного пара – основного рабочего тела и теплоносителя тепловой и атомной энергетики. Приведены достоинства и недостатки как традиционного подхода печатной публикации данных о свойствах веществ в бумажном виде, так и современного – в электронном виде на сайтах в Интернете. Описаны важные требования при публикации в электронном виде: данные должны быть представлены в виде сетевых открытых и интерактивных расчетов. Дан критический анализ соответствующих Интернет-ресурсов. Описаны некоторые аспекты работы Международной ассоциации по свойствам воды и водяного пара (International Association on the Properties of Water and Steam, IAPWS). Приведены конкретные примеры возможных путей создания современных IT-ресурсов по расчетам свойств веществ: бумажный справочник, расчетная программа для установки на компьютере, расчетные документы для скачивания с сайта, и использование серверных расчетов на основе технологий Mathcad Calculation Server на сайте НИУ «МЭИ» и SMath на сайте компании Elsevier.

¹ 111250, Москва, Красноказарменная ул., д. 14 – www.mpei.ru

² 125412, Москва, Ижорская ул., д. 13 – www.jiht.ru

³ ochkov@tw.mpei.ac.ru

Ключевые слова

теплофизические свойства веществ, рабочих тел и теплоносителей ТЭС и АЭС, теплотехнические расчеты, Mathcad, SMath, Интернет, IAPWS, Elsevier, Knovel

В настоящее время в связи с бурным развитием информационных технологий уже недостаточно иметь описание теплофизических свойств веществ в виде «статичных» таблиц, графиков или формул (формуляций – набора формул, таблиц и графиков с инструкциями по их применению), публикуемых в журнальных статьях, бумажных справочниках и на сайтах Интернета. Сейчас необходимо, чтобы эти базы данных были «живыми»: *сетевыми, открытыми и интерактивными*⁴. Что это означает?

Почти все компьютеры специалистов, каким требуются данные по свойствам веществ, подсоединены к Интернету. Это реальность наших дней. И если данному инженерно-техническому или научному работнику нужна справка о свойствах того или иного вещества, включая воду и водяной пар, то его рука тянется не к полке со справочниками и журнальными статьями, а к... мышке компьютера. Да, нужную справку в Интернете можно найти довольно легко и быстро. Но тут приходится с сожалением иметь ввиду и то, что у Интернета есть и такая нелестная характеристика: Интернет – это «всемирная помойка», куда зачастую выбрасывают (выкладывают) все, что нужно и не нужно, мало заботясь о достоверности выкладываемой информации. С другой стороны, можно упомянуть и тот факт, что многие археологические раскопки, по которым мы воссоздаем историю нашей цивилизации, велись именно на помойках, свалках, возникавших вблизи городов и поселений древних людей. Можно предположить, что будущие исследователи станут воссоздавать историю, включая и историю наших ошибок и заблуждений, копаясь именно в архиве Интернета...

Нелишним будет также отметить и тот факт, что термины «бумажный» и электронный (интернетовский) не совсем однозначно связаны с понятием «достоверность данных», т.к. и на бумажных носителях (в журнальных статьях,

⁴ Конечно, современных требований к базам данных можно намного больше, по три (триада) наглядна. Вспомним: свобода – равенство – братство, православие – самодержавие – народность, мир – труд – май и т.д.

справочниках и др.), увы, можно найти неточную информацию даже в строго рецензируемых изданиях.

Но в Интернете есть много довольно надежных источников, и мы именно о них и будем вести речь в данной статье.

В настоящее время исследователь, публикуя свои данные по свойствам веществ, должен заботиться о том, чтобы они появлялись и в «бумажном» и в электронном (сетевом) виде. «Бумажные» издания (журнальные статьи, монографии, справочники, разного рода руководства и нормативные документы) имеют свои неоспоримые преимущества. Дело в том, что при всей оперативности и доступности Интернета традиционная техническая книга еще не скоро сдаст своих позиций. Ее (сшитые бумажные листы в мягком или твердом переплете) можно подарить коллегам, друзьям и близким, представить на творческий конкурс (на конкурс по замещению должности в вузе или НИИ, на получение ученого звания и т.д. и т.п.), что пока нельзя сделать с сайтом Интернета, у которого свои неоспоримые преимущества, а именно: возможность оперативного исправления ошибок и опечаток, дополнения новыми материалами, цветными иллюстрациями, трехмерными схемами, анимацией и, что очень важно и о чем пойдет речь в данной статье, «живыми» расчетами. Не будем спорить, что лучше – книга или сайт, а будем активно использовать преимущества этих двух медийных продуктов и стараться обходить их недостатки. В пользу бумажной книги (журнала) обычно приводят еще один довод – с такой книгой (журналом) можно валяться на диване, открыть в дороге и т.д. Но в настоящее время появились электронные книги и планшетные компьютеры с хорошей связью с Интернетом, с которыми также можно «валяться на диване, открыть в дороге», а также дополнительно делать в них электронные закладки, вести оперативный поиск и... расчеты.

Об электронной (интернетовской) форме публикации, как правило, заботится издатель журнала или книжного издательства. Но нередко это делает и сам автор, размещая на своем личном сайте не только свои статьи и книги, но и другие вспомогательные материалы – рецензии, ранние версии статьи, ссылки на «живые» расчеты и др. Но часто вход читателей (пользователей) на эти Интернет-ресурсы затруднен из-за их бесплатности и/или требований регистрации. И барьером тут зачастую выступает не стоимость допуска на тот или иной Интернет-ресурс (она может быть невысокая), а сама процедура входа,

требующая регистрации и передачи личных данных или данных места работы (включая данных о банковской карточке и др.) на внешние сервера. Это один из аспектов *открытости* публикаций.

Открытость подразумевает под собой тот факт, что если по данным о свойствах веществ ведется *расчет* (*интерактивность* – см. ниже), то должны быть видимы все *формулы* и промежуточные результаты расчетов с оценкой по возможности погрешности (неопределенности).

Промежуточные данные необходимы не только для контроля правильности расчетов. Они важны также и для тех посетителей сайтов, кто хочет по опубликованным формулам создать свою собственную программу для расчета свойств веществ. Промежуточные данные помогут быстро локализовать и исправить ошибку в создаваемой программе, если она имела место.

Интерактивность, как характеристика современных баз данных подразумевает не только возможность изменения посетителем сайта исходных параметров вещества (давление, температура, плотность и т.д.), но и возможность *прикрепления* соответствующей функциональной зависимости к своей программной оболочке, а также автономная работа со скачанной с сайта функции (процедурой, шаблоном), ее модификация (уточнение, корректировка допустимого диапазона параметров, создание вложенных и обратных функций, дополнение комментариями и др.). Но главное, повторяем, под интерактивностью следует понимать возможность вставки скачанных функций, процедур и шаблонов в свои прикладные расчеты, где необходимы эти данные о свойствах веществ. А именно для этого эти данные создаются, собираются, анализируются, обрабатываются и публикуются...

Суть триады «сетевой–открытый–интерактивный» нами будет проиллюстрирована на примере одного из самых распространенных веществ – на примере воды и водяного пара.

За теплофизическое «поведение» этого вещества отвечает Международная ассоциация по свойствам воды и водяного пара IAPWS – www.iapws.org, в которой активно работают авторы этой статьи. Эта некоммерческая самоуправляющаяся организация ежегодно собирается на рабочие встречи⁵, а раз

⁵ В 2014 году она прошла в Москве – см. <http://iapws.org/news/Press2014.pdf>. В 2015 году такая встреча будет проходить в Стокгольме, а в 2016 году – в Дрездене – см.

в 4 – 5 лет проводит научные конференции. На этих «саммитах» обсуждаются и утверждаются формуляции по свойствам воды и водяного пара, которые затем становятся национальными и отраслевыми стандартами при проведении тех или иных расчетов процессов, аппаратов и технологий с использованием воды и водяного пара. А нет такой отрасли промышленности, где вода не применялась бы в качестве теплоносителя, растворителя, рабочего тела и т.д., и т.п. Чему, например, равна плотность воды при атмосферном давлении и при температуре, равной 80°C?! Для ответа на этот вопрос лучше всего обратиться к первоисточнику – взять соответствующую формуляцию IAPWS, утвержденную в 1997 г. и уточненную в 2007 г., для промышленного использования IAPWS-IF97 [1] и по формулам, в ней приведенным, сделать соответствующие расчеты. Или обратиться к таблицам или графикам, созданным по этим расчетам и опубликованным в разнообразных справочниках. Расчеты, приведенные в формуляциях, довольно сложны и, как правило, не годятся для ручных расчетов. Так, для расчета плотности воды в зависимости от ее давления и температуры по формуляции IAPWS-IF97 нужно вычислить полином 34-й степени с коэффициентами, имеющими 14 знаков в мантиссе (см. рис. 5 ниже). И это далеко не самая сложная и объемная формула формуляции IAPWS-IF97, по которой рассчитываются свойства воды и водяного пара. В околокритической области 3, например, ведется разбивка на 24 подобласти, каждая из которых считается по своей формуле. По формуляциям IAPWS после их утверждения публикуются справочники, создаются компьютерные программы коммерческого и некоммерческого характера⁶. Традиционные формуляции – это «статичный» документ: он «не реагирует на внешние воздействия» – в нем нельзя изменить исходные данные и получить новый ответ. В формуляциях детально описана методика расчетов и даны таблицы с контрольными цифрами расчетов и с погрешностями. Компьютерная программа – это «живой» объект, по которому можно считать, но документом его назвать нельзя, так как в нем детально не расписана сама методика расчетов и возможны компьютерные ошибки (опечатки в программном коде). Это противоречие в настоящее время по инициативе и при

<http://iapws.org/meetings.html>. В настоящее время председателем этой авторитетной организации является профессор МЭИ Петрова Тамара Ивановна.

⁶ Авторская подобная программа – это программа WaterSteamPro (www.wsp.ru).

активном участии авторов этих строк пытается устранить Международная ассоциация по свойствам воды и водяного пара.

Когда-то давно формуляции IAPWS печатались на пишущих машинках, затем набирались в типографиях и рассылались всем заинтересованным организациям и лицам, а также поступали в открытую продажу. И сейчас на сайте IAPWS можно найти такие старые формуляции в виде отсканированных желтых машинописных страниц с несколько размытыми буквами. Тексты и числовые константы с такого документа нельзя было скопировать щелчками мышки. Затем с развитием информационных и компьютерных технологий формуляции стали публиковать в виде текстовых файлов, из которых можно было уже без особых проблем копировать числовые константы для вставки их в выполняемые расчеты и создаваемые компьютерные программы. Это существенно ускорило процесс создания компьютерных программ, снизило риск ошибок, неизбежных при «ручном» (визуальном) переносе цифр из формуляции в создаваемую программу. Средством публикации таких формуляций стала свободно распространяемая оболочка Adobe Reader, а сами формуляции стали храниться в файлах с расширением pdf, которые несложно сгенерировать с помощью того же Word'a, который стоит почти на каждом компьютере. Но формуляции по-прежнему оставались «статичными».

В 2007 году на встрече рабочих групп IAPWS в г. Люцерн (Швейцария) одним из авторов этой статьи впервые была продемонстрирована в Интернете «живая» формуляция утверждаемой новой методики – методики расчета ионного произведения воды и водяного пара в зависимости от температуры и давления. Этот «живой» расчет был сделан в среде инженерного калькулятора Mathcad и опубликован в Интернете с помощью инструмента Mathcad Calculation Server [2]. Расчет показан на рис. 1.

Такие ошибки (опечатки), увы, нередко встречаются в научно-технических публикациях. Их тексты скрупулезно вычитываются редакторами и корректорами, но формулы обделены таким вниманием.

Этот первый «живой» расчет (рис. 1), которым было предложено дополнить традиционную формуляцию, поначалу члены IAPWS восприняли без особого энтузиазма. В IAPWS существует правило не выделять и не рекламировать ту или иную коммерческую компьютерную программу для расчетов по формуляциям IAPWS.

Но со временем после докладов на очередных рабочих встречах и конференциях IAPWS [3, 4] технология «живых» расчетов, дополняющих «статичные» формуляции, была наконец-то воспринята и вошла в арсенал IAPWS. На рисунке 2 можно видеть одну из страниц официального сайта IAPWS с формуляций 1997 г. для расчета термодинамических свойств воды и водного пара.

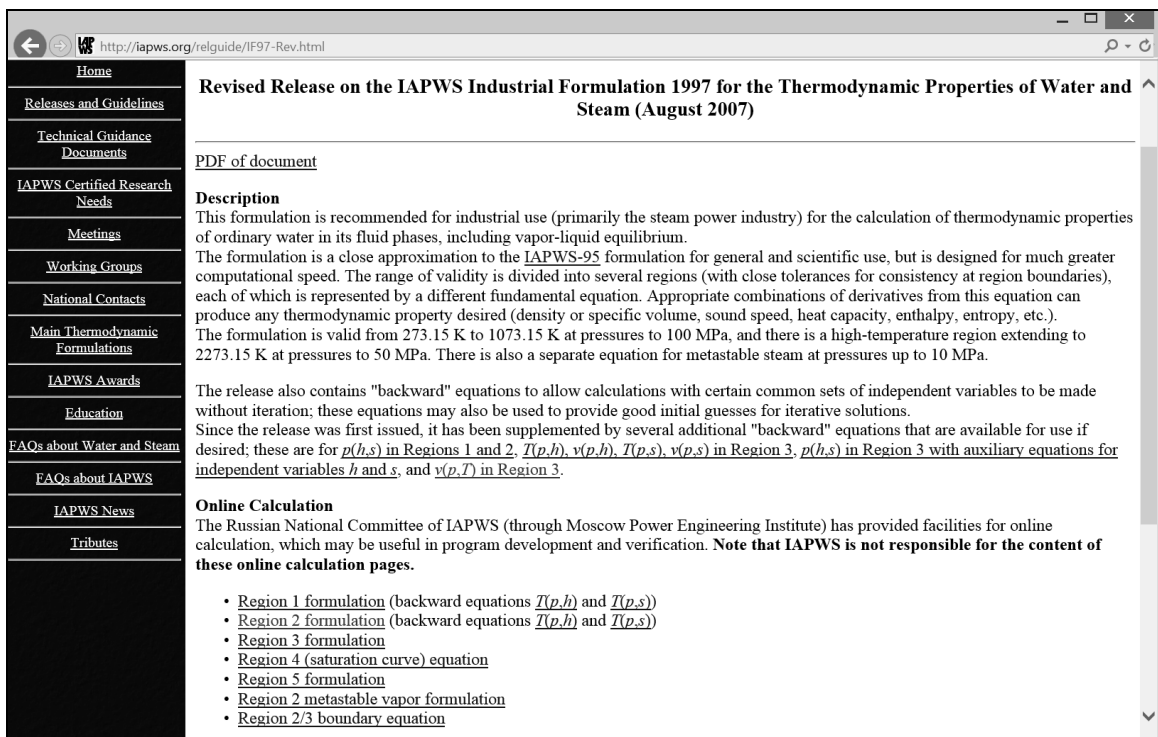


Рис. 2. Страница сайта IAPWS со ссылками на «живые» расчеты по термодинамическим свойствам воды и водяного пара

На данной странице сайта IAPWS (рис. 2) дана, во-первых, ссылка на официальный документ (PDF of document), затем краткое его описание (Description) и ссылки на «живые» расчеты (Online Calculation) по отдельным областям формуляции (Regions):

- Region 1 – вода

- Region 2 – водяной пар
- Region 3 – окологритическая область
- Region 4 – состояние насыщения
- Region 5 – водяной пар при высоких температурах и др.

На рис. 3 в качестве примера показаны фрагменты «живого» расчета термодинамических свойств воды (Region 1): вводятся (с выбором нужных единиц измерения) давление и температура, рассчитывается значение безразмерной свободной энергии Гиббса (уже упоминавшийся полином 34-степени) и значение его частной производной по давлению при заданных параметрах воды, а затем по известным формулам, содержащим частные производные свободной энергии Гиббса по давлению и/или температуре, рассчитываются термодинамические характеристики воды в данной точке: плотность (ρ), а также (это не показано на рис. 3) удельная внутренняя энергия (u), удельная энтропия (s), удельная энтальпия (h), удельная изохорная теплоемкость (c_v), удельная изобарная теплоемкость (c_p) и скорость звука (w). Весь расчет помещен в Интернете по адресу <http://twf.mpei.ac.ru/mcs/worksheets/iapws/IAPWS-IF97-Region1.xmcd>. Подобные «живые» расчеты авторами данной статьи созданы и для других областей базовой формуляции IAPWS-IF97, а также для других формуляций, например, для формуляций по транспортным свойствам воды и водяного пара.

Input parameters

Pressure := atm Temperature := °C

The dimensionless Gibbs free energy

$$\gamma := \sum_{i=1}^{34} \left[n_i \cdot (7.1 - \pi)^{l_i} \cdot (\tau - 1.222)^{J_i} \right] = -1.634103395456 \times 10^{-4}$$

The partial derivatives of the dimensionless Gibbs free energy

$$\gamma_{\pi} := \sum_{i=1}^{34} \left[-n_i \cdot l_i \cdot (7.1 - \pi)^{l_i-1} \cdot (\tau - 1.222)^{J_i} \right] = 0.129232718254$$

Thermodynamic properties

Density: $\rho := \frac{p}{R \cdot T \cdot \pi \cdot \gamma_{\pi}} = 999.975407296488 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Рис. 3. «Живой» расчет по термодинамическим свойствам воды (Region 1 – см. рис. 2)

По «живым» формуляциям, как уже отмечено, очень удобно, сравнивая промежуточные вычисления, отлаживать создаваемую прикладную программу по расчету свойств воды и водяного пара. Такую формуляцию можно также использовать в качестве справки: интерактивно вводить новые значения давления и температуры и получать характеристики этой субстанции в данной точке, не обращая внимания на промежуточные результаты расчетов. Если же промежуточные данные совсем не нужны, то можно зайти на другие подобные авторские расчетные сайты (см. <http://twm.mpei.ac.ru/rbtp>), где выдается только конечный результат, а заданная точка может дополнительно отображаться на семействе кривых или на поверхности, что позволяет лучше понимать зависимости свойств воды и водяного пара от давления, температуры, плотности и т.д.

Потребность скачивания файлов с расчетами по свойствам воды и водяного пара удовлетворяется через сайт авторского справочника по

термодинамическим свойствам рабочих тел теплоэнергетики [5 – <http://twf.mpei.ac.ru/rbtp/>], одна из страниц которого показана на рис. 4.

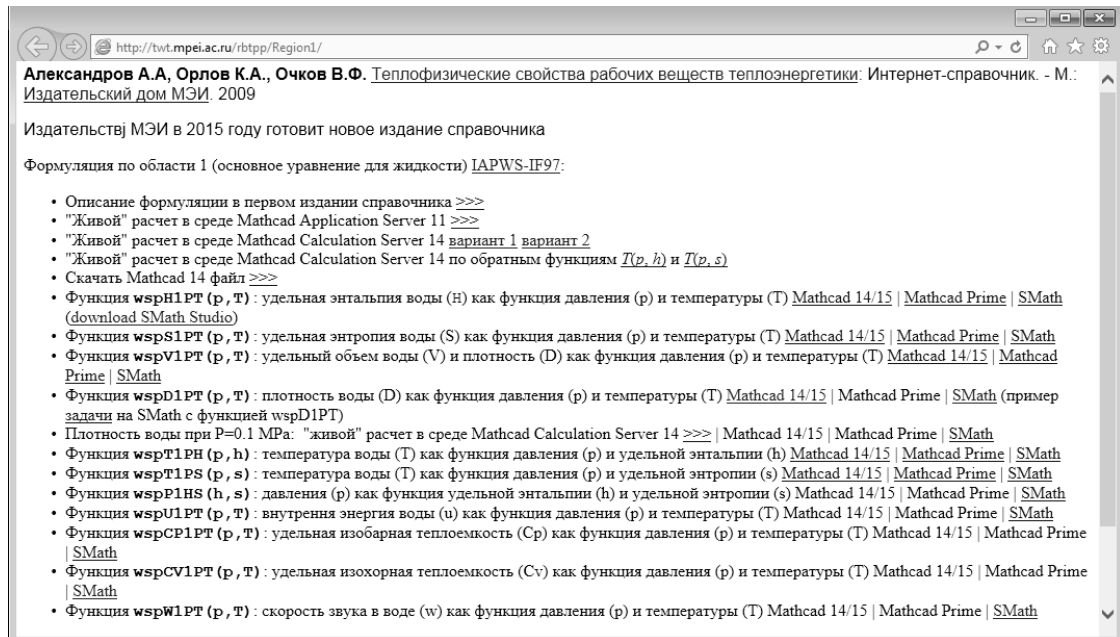


Рис. 4. Сайт информационной поддержки расчетов по термодинамическим свойствам воды

На сайте, показанном на рис. 4, даны не только ссылки на «статичные» формуляции и «живые» расчеты, подобные тому, какой отображен на рис. 1, но дополнительно дана возможность скачивания файлов для математических программ Mathcad (версии Mathcad 15 и Mathcad Prime) и SMath Studio (русский клон Mathcad – см. www.smath.info). Главное преимущество последней программы состоит в том, что она во многом повторяет идеологию и интерфейс популярной программы Mathcad, но является бесплатной, свободно распространяемой. Примерно так, как это делается в отношении программы Adobe Reader, о которой упомянуто выше. На рис. 5 показана SMath-функция с именем `wspD1PT`, возвращающая значение плотности (D) воды (область 1) в зависимости от давления (p) и температуры (T). Суффикс `wsp` в имени этой и других подобных функций означает Water/Steam Properties – свойства воды и водяного пара. На рис. 3 показана только часть значений векторов J и n , являющихся коэффициентами полинома 34-й степени, по которому, как уже отмечено выше, рассчитывается безразмерная удельная энергия Гиббса и ее частные производные по давлению (π) и температуре (τ).

```

Function wspD1PT
wspD1PT(p, T) :=
  tau := 1386 K / T

  pi := p / 16.53 MPa
  Y_pi := "The partial derivative with pressure of the dimensionless Gibbs free energy"
  I := (0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 5 8 8 21 23 29 30 31 32)
  J := (-2 -1 0 1 2 3 4 5 -9 -7 -1 0 1 3 -3 0 1 3 17 -4 0 6 -5 -2 10 -8 -11 -6 -29)

  n := (1.4632971213167 · 10-1 -8.4548187169114 · 10-1 -3.756360367204 3.385516916838)
  sum_{i=1}^{34} (-n_i · I_i · (7.1 - pi)^{I_i - 1} · (tau - 1.222)^{J_i})

  R := 0.461526 kJ / (kg K)
  p / (R · T · pi · Y_pi)

p := 20 MPa    T := 100 °C    rho := wspD1PT(p, T) = 967.4333 kg / m^3

```

Рис. 5. Функция, возвращающая плотность воды, созданная в среде SMath

Подобные свободно распространяемые функции созданы и для других областей формуляции IAPWS-IF97 и для других сочетаний исходных параметров – см. рис. 4. Эти функции можно вставлять в свои расчеты и решать прикладные задачи, одна из которых показана на рис. 6, где отображен расчет термического КПД паротурбинного цикла. Цикл простейший – без промежуточного перегрева пара, без отборов пара из турбины на подогрев питательной воды и т.д. Тем не менее, этот расчет потребовал вставки в него (см. свернутые области со знаком плюс; на рис. 5 такая область раскрыта: плюс превратился в минус) одиннадцати функций с суффиксом wsp, по аббревиатуре которых несложно понять их сущность (H – энтальпия, P – давление, T – температура, S – энтропия, пар (Steam) или насыщение (Saturation), W – вода и X – степень сухости):

1. H2PT – удельная энтальпия водяного пара в зависимости от давления и температуры;
2. S2PT – удельная энтропия в зависимости от давления и температуры;
3. TSP – температура на линии насыщения в зависимости от давления;
4. SSWT – удельная энтропия воды на линии насыщения в зависимости от температуры;
5. SSST – удельная энтропия сухого насыщенного водяного пара в зависимости от температуры;

6. XTS – степень сухости влажного пара в зависимости от температуры и удельной энтропии (она создана с опорой на функции SSWT и SSST);
7. HSWT – удельная энтальпия воды на линии насыщения в зависимости от температуры;
8. HSST– удельная энтальпия сухого насыщенного водяного пара в зависимости от температуры;
9. HSTX– удельная энтальпия влажного водяного пара в зависимости от температуры и степени сухости (она создана с опорой на функции HSWT и HSST);
10. T1PS – температура воды в зависимости от давления и удельной энтропии;
11. H1PT – удельная энтальпия воды в зависимости от давления и температуры.

$p_0 = 13 \text{ MPa}$ $T_0 = 550 \text{ }^\circ\text{C}$

Паровой котел Паровая турбина Конденсатор Питательный насос

$p_{\text{cond}} = 5 \text{ kPa}$

Решение:

☐—функция $wspH2PT$ Удельная энтальпия водяного пара на входе в турбину:
 $h_0 := wspH2PT(p_0, T_0) = 3471.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

☐—функция $wspS2PT$ Удельная энтропия водяного пара на входе в турбину:
 $s_0 := wspS2PT(p_0, T_0) = 6.6087 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

☐—функция $wspTSP$ Температура в конденсаторе:
 $T_{\text{cond}} := wspTSP(p_{\text{cond}}) = 32.88 \text{ }^\circ\text{C}$

☐—функция $wspSSWT$ Удельная энтропия водяного пара на выходе из турбины (идеальный процесс расширения пара в турбине)
 $s_1 := s_0 = 6.609 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

☐—функция $wspSSST$

☐—функция $wspXTS$ Степень сухости водяного пара на выходе из турбины:
 $x_1 := wspXTS(T_{\text{cond}}, s_1) = 0.7745$

☐—функция $wspHSST$

☐—функция $wspHSWT$

☐—функция $wspHSTX$ Удельная энтальпия водяного пара на выходе из турбины Удельная работа турбины:
 $h_1 := wspHSTX(T_{\text{cond}}, x_1) = 2014.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ $l_{\text{turb}} := h_0 - h_1 = 1456.93 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

☐—функция $wspHSWT$ Удельная энтальпия воды на линии насыщения при температуре в конденсаторе:
 $h_2 := wspHSWT(T_{\text{cond}}) = 137.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

☐—функция $wspSSWT$ Удельная энтропия воды на линии насыщения при температуре в конденсаторе:
 $s_2 := wspSSWT(T_{\text{cond}}) = 0.4763 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

☐—функция $wspT1PS$ Давление питательной воды: Удельная энтропия питательной воды (идеальный процесс работы насоса)
 $p_3 := p_0 = 13 \text{ MPa}$ $s_3 := s_2 = 0.4763 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

☐—функция $wspT1PS$ Температура питательной воды:
 $T_3 := wspT1PS(p_3, s_3) = 33.19 \text{ }^\circ\text{C}$

☐—функция $wspH1PT$ Удельная работа питательного насоса: Удельная работа турбины:
 $h_3 := wspH1PT(p_3, T_3) = 150.7799 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ $l_p := h_3 - h_2 = 13.0148 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

☐—функция $wspH1PT$ Теплота, поступившая в котел: Термический КПД цикла
 $q := h_0 - h_3 = 3320.6098 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ $\eta_t := \frac{l_{\text{turb}} - l_p}{q} = 0.4348$

Рис. 6. Расчет термического КПД простейшего паротурбинного цикла на перегретом паре

Еще одно обстоятельство заставляет пристально присматриваться к программе SMath.

Дело в том, что на эту математическую программу обратило внимание крупнейшее в мире электронное издательство Elsevier (www.elsevier.com). У этого издательства имеются планы использования пакета SMath в качестве инструмента дополнения технических справочников и научно-технических статей, публикуемых на сайте Elsevier для свободного или платного доступа, *интерактивными расчетами*. Посетители сайта Elsevier могут не только видеть и анализировать «статичные» формулы в электронных версиях книг, справочников и статей, но и считать по этим формулам, переносить их в свои расчеты.

На рис. 7 в качестве примера помещен один такой расчет с сайта Elsevier, созданный одним из авторов этой статьи⁷.

Power Requirement for a Water Pump

An equation for calculating the power requirement of a water pump as a function of water density. Water density is calculated as a function of its temperature and pressure per IAPWS Formulation for Region 1. This equation can be used for pump selection in a variety of industries, including chemical process and power generation.

Contributed by: Valery Ochkov

References:
http://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpASHRAEA2/cid:kt00AFVIV3/viewerType:pdf/root_slug:ashrae-handbook-heating-3?cid=kt00AFVIV3&page=7&b-toc-cid=kpASHRAEA2&b-toc-root-slug=ashrae-handbook-heating-3&b-toc-url-slug=centrifugal-pumps&b-toc-title=2012%20ASHRAE%20Handbook%20-%20Heating%2C%20Ventilating%2C%20and%20Air-Conditioning%20Systems%20and%20Equipment%20%28SI%20Edition%29

Citations: 1.) 2012 ASHRAE Handbook - Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment (SI Edition), Page 44.7. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2012. 2.) International Association for the Properties of Water and Steam, "Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam", 2007, Lucerne, Switzerland, <http://www.iapws.org/relguide/IF97-Rev.pdf>

Variable	Value
Mass flow rate of water	$q_{\text{mass}} = 100 \frac{\text{t}}{\text{hr}}$
Inlet pressure of water	$p_{\text{in}} = 2 \text{ atm}$
Outlet pressure of water	$p_{\text{out}} = 7 \text{ atm}$
Temperature of water	$T = 90 \text{ }^\circ\text{C}$
Pump efficiency	$\eta_{\text{pump}} = 0.85$

Density of water as a function of p (pressure) and T - oper

Density of water:
 $\rho = \rho_{\text{water}} \left(\frac{p_{\text{in}} + p_{\text{out}}}{2}, T \right) = 965.48 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Flow rate of water:
 $q_{\text{volume}} = \frac{q_{\text{mass}}}{\rho} = 103.5754 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$

Power requirement for the water pump:
 $N_{\text{pump}} = \frac{q_{\text{mass}} (p_{\text{out}} - p_{\text{in}})}{\rho \cdot \eta_{\text{pump}}} = 17.148 \text{ kW}$

Рис. 7. Расчет мощности насоса

⁷ А он уже давно сотрудничает с фирмой Knovel, которая в настоящее время стала частью издательства Elsevier.

Для расчета мощности насоса (см. рис. 7) нужно знать плотность перекачиваемой жидкости (воды в данном случае) для того, чтобы рассчитать объемный расход по массовому расходу воды. В расчет, показанный на рис. 7, вставлена функция, отображенная на рис. 5, которая возвращает плотность воды в зависимости от давления и температуры. На сайте, показанном на рис. 7, есть ссылка на авторитетный справочник по насосам, где приведена и подробно описана сама «статичная» формула для расчета мощности насоса. Читатель этого справочника (посетитель сайта Elsevier) может сразу ввести расчет по формулам, переносить эти формулы в свои прикладные расчеты [6, 7].

В настоящее время один из авторов данной статьи «уговаривает» членов IAPWS перейти на описанную новую информационную технологию. В будущем, мы надеемся, появление новой формуляции по свойствам воды и водяного пара будет сопровождаться выкладыванием на сайте IAPWS соответствующих функций, которые тут же можно переносить в свои прикладные и научно-технические расчеты. И площадкой для этой новой информационной технологии может стать сайт издательства Elsevier. Авторы уже передали этой организации 50 функций по свойствам воды и водяного пара и несколько практических расчетов, где эти функции используются. В скором времени они будут протестированы и опубликованы. Пока же эти функции опубликованы только на авторском сайте.

Вывод

Современный этап процесса публикации данных о свойствах веществ должен включать в себя процедуру «оживления» всех графиков, таблиц и формул. Авторы данных по свойствам веществ, публикуя статью, монографию или справочник, должны заботиться о том, чтобы все расчеты были «живыми» и дополнялись функциями для скачивания и встраивания их в прикладные программы. Если стандартом публикации «статичных» формуляций по свойствам веществ является текстовый и формальный редактор Adobe Reader, то стандартом публикации «живых» формуляций может стать, например, математическая программа SMath.

Литература

1. Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam. The International Association for the Properties of Water and Steam Lucerne, Switzerland, August 2007. www.iapws.org.
2. Очков В.Ф. Mathcad 14 для студентов и инженеров: русская версия. БХВ-Петербург, 2009 (http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/Mathcad_14/RusIndex.html)
3. Alexandrov A.A., Ochkov V.F., Orlov K.A. Steam Tables and Diagrams on Mathcad Calculation Server for Personal Computers, Pocket Computers and Smart Phones // Proceedings of the 15th International Conference of the Property of Water and Steam, Berlin/Germany, September 7–11, 2008 (<http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/WSPHB/Berlin2008.pdf>)
4. Ochkov V.F., Orlov K.A., Ochkov A.V., Znamensky V.E., Kondakova G.J. Cloud water and steam functions for industrial applications // Proceedings of the 16th International Conference of the Property of Water and Steam, 1-5 September 2013, University of Greenwich, London, UK 2013 (<http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/WSPHB/London-2013.png>)
5. Александров А.А., Орлов К.А., Очков В.Ф. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики: Интернет-справочник. М.: Издательский дом МЭИ. 2009 (<http://twf.mpei.ac.ru/rbtpp>).
6. Очков В.Ф., Орлов К.А., Чжо Ко Ко. "Облачные" функции и шаблоны инженерных расчетов для АЭС // Теплоэнергетика. № 10. 2014
7. Очков В. Ф., Чжо Ко Ко Облачные функции – новый этап информационной поддержки науки и техники // Cloud of Science. Т. 1, № 1, 2014 (<http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/WSPHB/CloudPE.pdf>)