

УДК 66.011;541.127;547.598.5

## ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ БАЗЫ ДАННЫХ: ОТ ТАБЛИЦЫ К ИНТЕРАКТИВНЫМ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСАМ И “ОБЛАЧНЫМ” ШАБЛОНАМ

© 2015 г. В. Ф. Очков, Е. Е. Устюжанин, Ч. К. Ко, В. В. Шишаков

*Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”*

*Объединенный институт высоких температур РАН, Москва*

*E-mail: evgust@gmail.com*

Поступила в редакцию 18.11.2014 г.

Выполнен анализ Интернет-ресурсов, содержащих информацию о теплофизических свойствах технических важных веществ. Рассмотрены базы данных, размещенные в Интернете рядом организаций (ОИВТ РАН, Стандартинформ, НИСТ, ИТФ СО РАН и др.). Предложены пользовательские функции и облачные шаблоны для расчета теплофизических свойств веществ и решения некоторых прикладных задач.

DOI: 10.7868/S0040364415040195

### ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим характеристики информации, которая относится к теплофизическим свойствам веществ и размещена на ряде веб-сайтов, на примере, связанном с проектированием энергоустановки (ЭУК). В этом примере пользователь-проектировщик должен вычислять значения энергетических критериев  $Z$  (термический КПД, мощность турбин, подводимая теплота и другие параметры цикла) применительно к ЭУК, используя собственную программу, которая именуется как Code\_1( $Z, Y$ ), где  $Y = (y_i, i = 1 \dots N)$  – задаваемые величины, в том числе  $(p_{t1}, t_{t1})$  – давление и температура на входе в первую турбину и термодинамические свойства  $R_{\text{cycle}} = (p, t, v, h, \dots)$  рабочего тела в заданных точках цикла.

Пусть программа Code\_1( $Z, Y$ ) создана в среде Mathcad. Значения  $R_{\text{cycle}}$  берутся пользователем, как правило, из внешнего источника. В настоящее время типичным источником информации является веб-сайт одной из организаций (например, Стандартинформ, НИСТ [1], ИТФ СО РАН, ОИВТ РАН [2] и др.), где размещены наиболее известные ресурсы с текстовыми файлами. Это значит, что ресурс не использует компьютерную программу или eхе-file, вычисляющие свойства по математическим формулам. Файлы ресурсов содержат табулированные свойства  $R_i = (p, h, s, \dots)$  при фиксированных аргументах  $(p, t)$  для рабочего вещества (R134a, H<sub>2</sub>O и др.). Обращаясь к ресурсу, пользователь получает табличные значения  $R_i$ , ориентируясь на параметры  $Y$ . Для определения

$R_{\text{cycle}}$  необходимо выполнить многошаговую интерполяцию табличных значений  $R_i$  и многократное введение этой информации в программу.

Опыт авторов [3–6] показывает, что актуальным является поиск программного обеспечения (ПО), позволяющего адаптировать табулированные значения  $R_i$  для проектирования ЭУК. Рассмотрим созданный недавно Интернет-ресурс, опирающийся на массив  $R_i = (p, p, t)$  данных о плотности вещества в газовой фазе (см. рис. 1).

На первом этапе была разработана программа Code\_2( $p, Y$ ). Она позволяет вычислить значение  $p$  на основе метода, предназначенного для двойной сплайн-интерполяции массива  $R_i$ , и содержит: а) Mathcad-функцию  $\rho(p, t)$ ; б) значения  $p$ , лежащие в интервале от 1 до 300 бар (см. рис. 1); в) значения температуры  $t$  в интервале от –50 до 400°С (первая строка массива, рис. 1); г) таблицу плотности  $\rho$ ; д) встроенную функцию Mathcad в форме csplain( $X, Z$ ) (см. рис. 1), выполняющую сплайн-интерполяцию в оговоренных граничных условиях.

Программа Code\_2( $p, Y$ ) включает граничные условия  $Y = (p, t, \dots)$ , представляющие собой параметры  $(p, t)$ , вводимые пользователем, граничные аргументы  $(p, t)_{\text{max}}$  и  $(p, t)_{\text{min}}$ , а также другие параметры.

На рис. 1 показана часть программы Code\_2( $p, Y$ ). Здесь можно видеть Mathcad-функцию  $\rho(p, t)$ , которая обеспечивает выбор единиц измерения, ввод заданных значений  $U$ , например  $U = U(p = 250 \text{ бар}, t = 175^\circ\text{C})$ , вычисление  $p$  и вывод результата на экран. На рис. 1 вид-

```

ρ(p,t) := "Сплайн-интерполяция табличных данных"
      M ← (
      "p, bar\t, °C"  -50   0   50  100  150  200  300  400
      1      1.563 1.275 1.078 0.932 0.8226 0.7356 0.6072 0.517
      50     83.79 65.2  53.96 46.25 40.57  36.18  29.8  25.37
      100    175.6 131.4 107.1 91.13 79.66  70.92  58.37 49.71
      200    340.3 253.7 205.4 174.3 152.2  135.6  111.8 95.41
      300    449.3 350.8 288.6 246.7 216.4  193.4  160.3 137.4
      )
      (
      x ←  $\frac{p}{\text{bar}}$  y ←  $\frac{t}{\text{K}} - 273.15$  "Приведение аргументов к безразмерному виду"
      )
      (X ← submatrix(M,1,rows(M) - 1,0,0) "Боковик таблицы – p")
      (Y ← (submatrix(M,0,0,1,cols(M) - 1))T "Шапка таблицы – t")
      return "p и/или t вне диапазона" if x < min(X) ∨ x > max(X) ∨ y < min(Y) ∨ y > max(Y)
      (Z ← submatrix(M, 1, rows(M) - 1,1,cols(M) - 1) "Содержание таблицы – ρ")
      (
      for i ∈ 0.. cois(Z) - 1      "Формирование дополнительной строки"
      Zvi ← interp(cspline(X,Z(i)), X,Z(i), x)
      )
      interp(cspline(Y,Zv), Y, Zv, y) ·  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ 
      ρ(250bar, 175°C) := 178  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ 
  
```

Рис. 1. Mathcad-поле ОИ-ресурса № 1.

ны два варианта значений: в европейских и американских единицах измерения. Код позволяет выбрать и другие единицы измерения. Предложенный метод вычислений с применением единиц является одной из положительных особенностей Mathcad [3, 4], существенно облегчающей расчеты и устраняющей возможные ошибки.

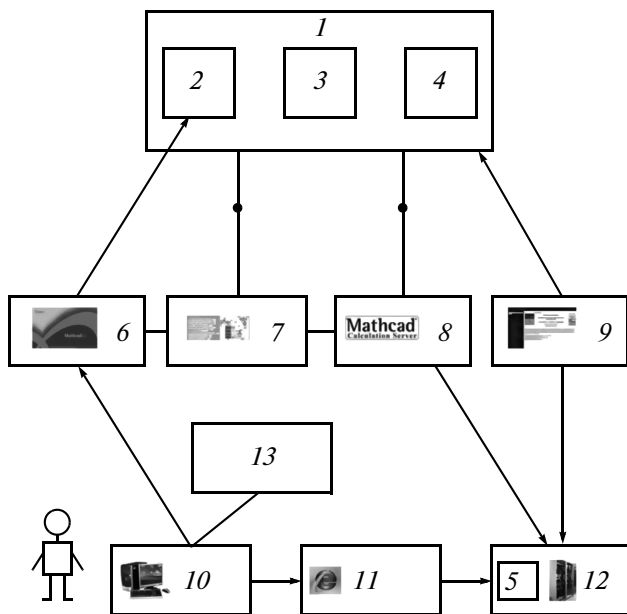
## ОТКРЫТЫЕ ИНТЕРАКТИВНЫЕ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

На втором этапе был создан открытый интерактивный (ОИ) Интернет-ресурс № 1 с использованием веб-сайта "Форум Mathcad" и удаленного сервера. Вычислительная часть (Mathcad-поле), которая включена в ОИ-ресурс, основывается на программе Code\_2( $\rho, Y$ ). В общем случае методической базой ОИ-ресурса № 1 является открытый интерактивный алгоритм [6]. Авторами разработана определенная технология и использован ряд инструментов для создания ОИ-алгоритма (рис. 2). ОИ-алгоритм 1 содержит следующие компоненты: часть 2, связанную с формулами для вычисления плотности  $\rho$  по заданным параметрам  $U$  и соответствующим Mathcad-кодом 7; текстовую часть 3, включающую справочную информацию о плот-

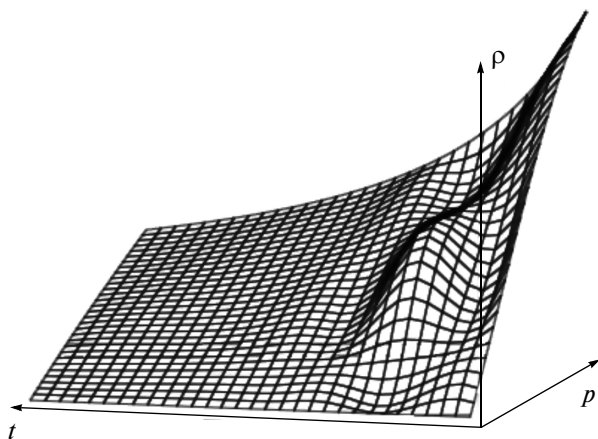
ности  $\rho$  вещества (массив ( $\rho, p, t$ )-данных, химическую формулу вещества, комментарии к математическим формулам и описание метода расчета плотности  $\rho$ , а также другую информацию); часть 4, связанную с информатикой и Интернет-технологиями.

Отметим, что ОИ-ресурс № 1 предоставляет клиенту ряд опций, включая вычисление свойства  $\rho$  при введении данных  $U$ , считывание текстовой информации, в том числе массива ( $\rho, p, t$ )-данных, копирование математических формул или кода в целом. Указанные опции выполняются на удаленном сервере, а не на персональном компьютере (ПК) пользователя. Важную роль при формировании ОИ-ресурса № 1 играют пакеты "Mathcad Calculation Server" 8 и "Microsoft Expression Web 3" 9 (рис. 2).

С помощью опции "копирование" клиент может сделать копию программы Code\_2( $\rho, Y$ ), поместить ее в индивидуальный код Code\_1( $Z, Y$ ) и затем выполнять расчеты плотности на ПК, используя функцию  $\rho(p, t)$ . Опция копирования отсутствует в известных базах данных (ОИВТ РАН [2], Стандартиформ и др.), которые оперируют закрытыми программами (exe-files).



**Рис. 2.** Источники информации и инструменты, используемые для создания открытого интерактивного алгоритма: 1 – ОИ-алгоритм; 2 – Mathcad-поле алгоритма; 3 – текстовая часть; 4 – часть, связанная с форматикой и Интернет-технологиями; 5 – шаблон; 6 – Mathcad-инструменты; 7 – Mathcad-программа; 8 – пакет “Mathcad Calculation Server”; 9 – пакет “Microsoft Expression Web 3”; 10 – ПК пользователя; 11 – Интернет; 12 – удаленный сервер; 13 – индивидуальная программа пользователя.



**Рис. 3.** Смещенная поверхность  $\rho(p, t)$ .

Наряду с рассмотренными опциями ОИ-ресурс № 1 предоставляет дополнительные возможности. Во-первых, можно построить поверхность по функции двух аргументов  $\rho(p, t)$  с использованием 3D-графики в среде Mathcad. Подобный график функции полезно строить не только для визуального анализа поведения вещества при изменении его параметров, но и для фиксации воз-

можных ошибок и опечаток. Так, график (рис. 3) построен с помощью деформированной матрицы, которая получена путем замены  $107.1 \text{ кг/м}^3$  (рис. 1) на смещенное значение  $170.1 \text{ кг/м}^3$ .

Во-вторых, пользователю, знакомому с Mathcad в общих чертах, можно легко заменить массив  $(\rho, p, t)$ -данных, входящих в копию программы  $\text{Code}_2(\rho, Y)$ , на собственный массив прямоугольной формы, содержащий аналогичные данные. В итоге пользователь может выполнять теплофизические расчеты применительно к ЭУК, при этом значения  $\rho$  будут вычисляться на основе упомянутого метода сплайн-интерполяции и модифицированного массива  $(\rho, p, t)$ -данных.

ОИ-ресурс № 1 классифицируется как “пользовательская функция” (a client function). Начиная с 2010 г. подобные функции размещаются не только на “Форуме Mathcad”, но и на других веб-сайтах, связанных с теплофизическими расчетами.

#### ВАРИАНТЫ ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ФУНКЦИЙ

Рассмотрим другой вариант ОИ-ресурса № 2, который был разработан авторами в следующей форме. Этот вариант опирается на программу  $\text{Code}_2(\rho, Y)$ , размещается на удаленном сервере, принадлежащем НИУ “МЭИ”, и предоставляет пользователю ряд опций, в том числе “вычисление свойства  $\rho$ ” в следующей форме. Если в предыдущем примере необходимо рассчитать значение плотности  $\rho(p, t)$  при входных параметрах  $U(p = 20 \text{ МПа}, t = 350^\circ\text{C})$ , то пользователь вставляет служебный адрес или “ссылку” (<http://twt.mpei.ac.ru/ТТНВ/Ro-p-t.xmcdz>) в программу  $\text{Code}_1(Z, Y)$ . На рис. 4 показано Mathcad-поле ОИ-ресурса № 2, где сверху размещены параметры  $U$ , вычисленная плотность, а также ссылка на “облачную” функцию  $\rho(p, t)$ . Внизу рис. 4 приведен 2D-график, построенный с помощью функции  $\rho(p, t)$  при фиксированных значениях  $U$  без упомянутой выше опечатки. Под графиком представлен вариант для температуры  $t = 500^\circ\text{C}$  (это значение находится вне условий  $Y$  (рис. 1)) и соответствующее сообщение об ошибке “out of range”.

Подчеркнем, что графики (рис. 3, 4) поясняют распространённые термины “живые таблицы” по отношению к таблице, которая представляет собой массив  $R_i = (\rho, p, t)$  и входит в  $\text{Code}_2(\rho, Y)$ , и “живые книги” по отношению к электронным книгам, которые снабжены ОИ-ресурсами с целью представления таблиц, размещенных в книге, в виде графиков.

Разработанная авторами технология предусматривает такой алгоритм: пользователь обра-

щается к ссылке, ОИ-ресурс № 2 автоматически отправляет параметры  $U$  на удаленный или “облачный” сервер, вычисляет значение  $\rho$  на удаленном сервере с помощью “облачной” функции  $\rho(p, t)$  и возвращает на компьютер.

Предложена опция, по которой пользователь применяет служебный пароль, и ОИ-ресурс № 2 открывает доступ к Mathcad-полю, схожему с полем, представленным на рис. 1. В итоге можно выполнить “копирование” и другие опции.

Как и в первом варианте, пользователь может редактировать скопированное Mathcad-поле (т.е. использовать ресурс как шаблон, который дает возможность, например, заменить исходный массив  $(\rho, p, t)$ -данных на сторонний массив  $R_i$ , содержащий аналогичные данные для другого вещества и имеющий прямоугольную форму) и рассчитать плотность  $\rho$  в новых граничных условиях.

Отметим, что рассмотренный шаблон, представленный в виде ссылки (см. рис. 4), обладает определенными преимуществами (размещение в Интернете, широкий набор опций и др.) перед информацией, которая имеет традиционную форму, рассеяна по теплофизическим базам данных и принадлежит ряду организаций (научные и коммерческие фирмы, образовательные институты). Традиционные формы являются весьма разнообразными (бумажные или электронные таблицы, графики, формулы или компьютерные программы, см. классификацию в [5]). Заинтересованные специалисты, занятые проектированием ЭУК, часто не могут эффективно использовать эти базы данных. Во-первых, их нужно найти. Во-вторых, нужно убедиться в их надлежащем качестве и в том, что они сертифицированы. В-третьих, и это главное, нужно как-то подсоединить информацию, входящую в эти базы данных, к рабочей программной среде. Типичной является ситуация, когда в проектной организации запрещают “вручную” вводить в собственные коды внешние данные о свойствах веществ, хотя информация может быть и “свежее” и/или точнее вшитых в компьютер данных. Это делается из-за того, что при ручном вводе может быть допущена опечатка или перепутаны единицы измерения.

Рассмотрим ОИ-ресурс № 3, который был разработан применительно к так называемым обратным функциям, которые отражают свойства  $R_i$  в случаях, когда функция  $\rho(p, t)$  является известной (рис. 1) или требуется решить обратные задачи, а именно, вычислить давление по плотности и температуре, а также температуру по плотности и давлению.

На рис. 5 показано Mathcad-поле ОИ-ресурса № 3, предназначенного для поиска обратных функций  $\rho(p, t)$ . Как и в ОИ-ресурсе № 1, привле-

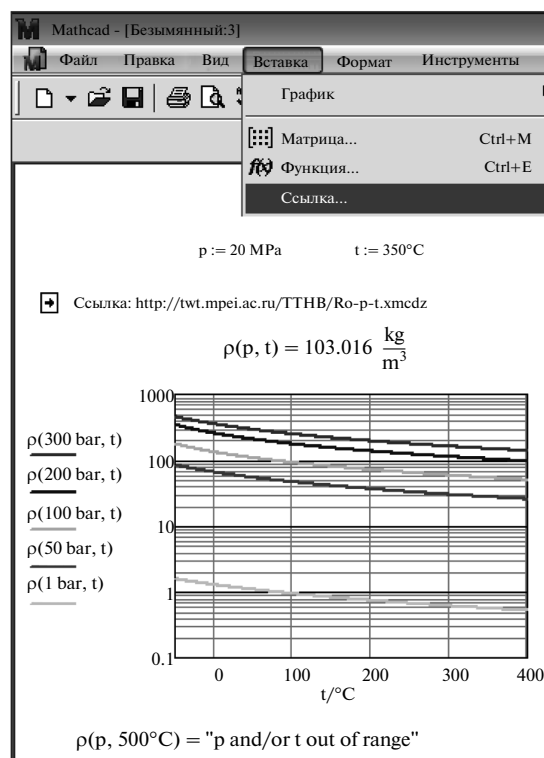


Рис. 4. Mathcad-поле ОИ-ресурса № 2 и 2D-график функции  $\rho(p, t)$ .

Function  $\rho(p, t)$

$$\rho(300\text{bar}, 100\text{°C}) := 247 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Обратные функции

1.  $t(p, \rho) := \text{root}(\rho(p, t) - \rho, t, 223.15\text{K}, 673.15\text{K})$
2.  $p(\rho, t) := \begin{cases} \rho \leftarrow 100\text{bar} \\ \text{root}(\rho(p, t) - \rho, p) \end{cases}$

$$\rho\left(247 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, 100\text{°C}\right) := 300\text{bar}$$

Рис. 5. Mathcad-поле ОИ-ресурса № 3.

чена встроенная функция  $\text{root}(\rho(p, t) - \rho, p)$ , которая позволяет отыскивать значение  $p$  при заданных граничных условиях с применением метода половинного деления (п. 1). Также запрограммирована встроенная функция  $\text{root}(\rho(p, t) - \rho, p)$  для вычисления  $t$  с помощью метода секущих (п. 2).

Функция  $\rho(p, t)$  (рис. 4) является непрерывной и монотонной в выбранной области значений давления и температуры. При работе с более сложными уравнениями, обратные функции которых могут иметь два и более значений в задан-

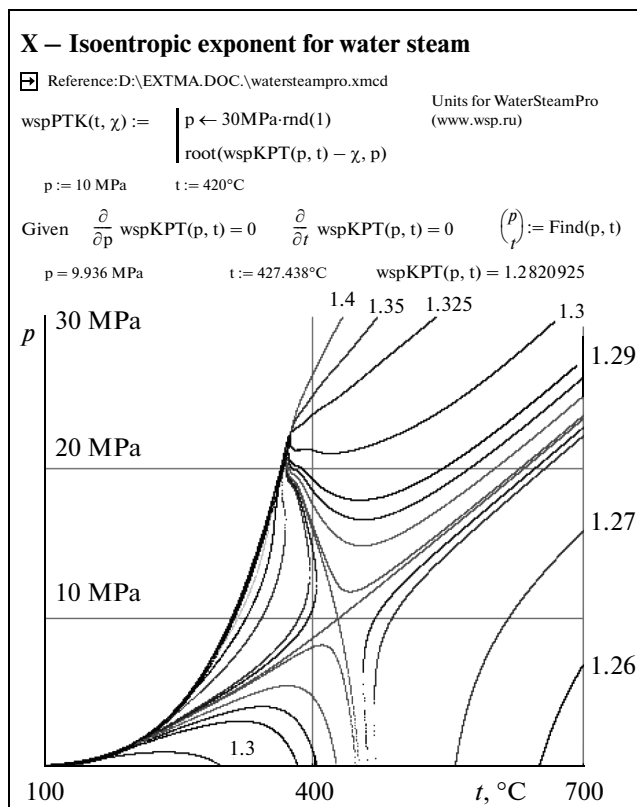


Рис. 6. Mathcad-поле для ОИ-ресурса № 4 и график семейства линий  $p(t, \chi)$ .

ных граничных условиях, необходимо вводить дополнительный аргумент – начальное приближение при поиске обратной функции. Например, для определения давления воды (водяного пара) по температуре и удельной энтальпии искомая точка может лежать либо в однофазной области, либо в двухфазной (влажный пар) [7].

Настоящие исследования показали, что в качестве первого приближения при расчете значений свойства  $R$  как обратной функции можно использовать случайное число в заданном диапазоне. Этот вариант опробован при разработке ОИ-ресурса № 4, который строит 2D-график, содержащий семейство кривых  $p(t, \chi)$  для водяного пара при условии, что показатель изоэнтропы  $\chi$  принимает ряд постоянных значений. На рис. 6 показаны Mathcad-поле для ОИ-ресурса № 4 и 2D-график для семейства кривых  $p(t, \chi)$ . В этом ресурсе использованы пользовательские функции  $\text{wspPTK}(t, \chi)$  и  $\text{wspKPT}(p, t)$ , размещенные на Интернет-ресурсе WaterSteamPro [8]. Упомянутые функции опираются не на табулированные исходные данные, а на единое уравнение состояния воды [8]. Генератор случайных чисел позволил построить требуемое весьма сложное по форме семейство кривых  $p(t, \chi)$ . Опыт авторов пока-

зывает, что в среде Mathcad можно построить обратные функции при условии, что являются согласованными заданная “прямая” функция, описывающая свойства  $R$  вещества, и инструменты, используемые для решения необходимого уравнения или систем уравнений.

На сервере, который создан авторами совместно со специалистами НИУ МЭИ, ОИВТ РАН и ООО “Триеру” (см. <http://www.trie.ru>), предлагается большое количество пользовательских функций и “облачных” шаблонов, посвященных расчету теплофизических свойств рабочих веществ. Статистика обращений, поступивших на указанный сайт, говорит о том, что пользовательские функции и шаблоны такого типа являются очень востребованными. На кафедре Технологии воды и топлива НИУ “МЭИ” организована работа по созданию “живых таблиц” из данных, опубликованных в статьях, книгах и Интернете и представляющих теплофизические свойства технически важных веществ. Построены пользовательские функции и шаблоны, которые основаны на математических формулах, представленных в литературных источниках; графиках, отражающих свойства  $R$  и опубликованных в статьях; и численных данных, относящихся к свойствам  $R$  и размещенных на дисках.

По заказу пользователей Mathcad, работающих в области тепловой и промышленной энергетики, построен ряд “облачных” шаблонов. При участии авторов были созданы пользовательские функции [6] применительно к теплофизическим свойствам органических рабочих тел, которые применяются в паротурбинных циклах, использующих, например, этанол.

Указанные ОИ-ресурсы частично описаны в справочнике [9], а технология их разработки и методика использования рассмотрены в статьях [10–12]. Многие из этих ресурсов ориентированы на расчеты свойств  $R$  применительно к ЭУК и имеют существенно более сложную форму, чем вид ОИ-ресурсов №№ 1–3. Так, в ОИ-ресурсах, связанных со свойствами воды, запрограммированы формулы, предназначенные для вычисления свойств воды и утвержденные “Международной ассоциацией по свойствам воды и водяного пара” (см. <http://www.iapws.org>). Уравнение состояния и вспомогательные формулы, использованные в этих пользовательских функциях, содержат порядка 100 коэффициентов.

Сходное программное обеспечение востребовано в проектировании холодильных машин и тепловых насосов [10]. Пользователь также ищет численные значения энергетических критериев  $Z$  (холодильный коэффициент, термодинамический КПД, мощность компрессора, подводимая

и отводимая теплоты и т.д.), используя собственную программу. В [10] разработаны ОИ-ресурсы, посвященные свойствам  $R$  органических веществ (этанол и ряд хладагентов) и опирающиеся на численные данные  $R_i = (p, t)$ ; некоторые массивы  $R_i$  получены с помощью кода Refprop (разработка НИСТ).

Для некоторых ОИ-ресурсов привлечены аппроксимационные методы, в том числе линейный метод наименьших квадратов (МНК), который позволяет строить аппроксимирующий многочлен по табулированным  $(R, t)$ -данным. Проведенный анализ показывает, что ОИ-ресурсы, которые позволяют рассчитывать плотность  $\rho$  на основе табличных  $(\rho, t)$ -данных и опираются на МНК, находят важное практическое применение. Они успешно работают в электронных тренажерах, на которых обучается персонал тепловых и атомных электростанций. В этом ПО предусмотрено вычисление свойств  $R$  рабочих тел с высокой скоростью и малым временным шагом в online-режиме, при этом допускается небольшая потеря точности. В указанных условиях расчеты, опирающиеся на интерполяцию точек исходного массива, ведутся намного быстрее, чем, например, сходный расчет по уравнению состояния. Опыт авторов показывает, что современные ПК обладают достаточно большим объемом оперативной памяти, позволяющим легко размещать любые исходные массивы. К тому же задача пользователя, который стремится включить в память ПК известные численные данные о всех свойствах всех возможных веществ, является невыполнимой. Реалистичным представляется следующий подход: справочную информацию о свойствах  $R$  следует размещать в форме пользовательских функций и “облачных” шаблонов, к которым пользователь может легко обратиться по Интернету и которые легко адаптировать, например, к проектированию ЭУК.

В данной работе рассмотрена задача, которая связана с вычислением свойства  $R$  на основе интерполяции таблицы  $(R, p, t, \dots)$ , при этом область существования “рассечена” линиями фазовых переходов. В подобной таблице [9] свойства имеют скачок значений на линии фазового перехода, при этом таблица (непрямоугольная) бывает заполнена только частично. В [7, 12, 13] предложены ОИ-ресурсы, которые предназначены для решения указанной задачи, в том числе вычисления свойства  $R(p, t, \dots)$  в широком диапазоне параметров состояния, включая твердую, жидкую и газообразную фазы. В [13] рассмотрен также ОИ-ресурс, дающий возможность интерполировать исходную таблицу  $(R, p, t, \dots)$ , и предложен комбинированный метод представления отдель-

ных областей/линий с использованием: векторов, относящихся к кривым фазовых переходов, частично заполненных матриц, набора уравнений. Разработка подобных методов ведется и в Германии [14].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пользовательские функции и “облачные” шаблоны предназначены для расчета теплофизических свойств, базируются на инновационной Интернет-технологии и являются эффективным программным обеспечением для проектирования и эксплуатации энергетических и других объектов. Исследованные ОИ-ресурсы существенно дополняют те традиционные формы информации, отраженные, например, в классификации [6]. Актуальной представляется проблема разработки и размещения ПО в форме “облачных” шаблонов, которые позволяют вычислять свойства  $R(p, t, \dots)$ , являются доступными через Интернет и существенно упрощают работу проектировщиков энергоустановок, тепловых насосов и холодильного оборудования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database Number 69 / Eds. Linstrom P.J., Mallard W.G. National Institute of Standards and Technology. (<http://webbook.nist.gov>). 2005.
2. Информационный триптих теплофизических свойств веществ // <http://www.thermophysics.ru/triptych>. 2007.
3. *Очков В.Ф.* Mathcad 14 для студентов и инженеров: русская версия. СПб.: БХВ—Петербург, 2009. 82 с.
4. *Очков В.Ф.* Физические и экономические величины в Mathcad и Maple. М.: Финансы и статистика, 2002. 62 с.
5. Интернет-версия справочника “Теплоэнергетика и теплотехника”: инструментальные средства создания и развития / Под общ. ред. Очкова В.Ф. М.: Изд. дом МЭИ, 2007. 160 с.
6. *Очков В.Ф., Орлов К.А., Очков А.В., Знаменский В.Е., Волощук В.А., Чижмакова В.Ю.* “Облачный” сервис по свойствам рабочих веществ холодильных установок // Вестн. Международной академии холода. 2013. № 2. С. 45.
7. *Очков В.Ф., Орлов К.А., Ко Ч.К., Анохин Д.А.* “Облачные” функции для инженерных расчетов водоснабжения // Водоснабжение и канализация. 2013. № 1. С. 35.
8. Программа для расчета свойств воды, водяного пара, газов и смесей газов. (<http://www.wsp.ru>). 2002.
9. *Александров А.А., Орлов К.А., Очков В.Ф.* Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики: Интернет-справочник. М.: Изд. дом МЭИ, 2009. 224 с.

10. *Очков В.Ф., Устюжанин Е.Е., Знаменский В.Е.* Анализ Интернет-объектов, содержащих информацию о теплофизических свойствах рабочих тел // Тр. Академэнерго. 2010. № 9. С. 23.
11. *Очков В.Ф., Орлов К.А., Френкель М.Л., Очков А.В., Знаменский В.Е.* “Облачный” сервис по свойствам рабочих веществ для теплотехнических расчетов // Теплоэнергетика. 2012. № 7. С. 79.
12. *Очков В.Ф., Орлов К.А., Знаменский В.Е.* Теплотехнические расчеты с опорой на Интернет-функции по свойствам рабочих веществ теплоэнергетики // Новое в российской электроэнергетике. 2011. № 6. С. 40.
13. *Очков В.Ф.* Публикация в Интернете теплофизических свойств веществ: проблемы и решения при работе с таблицами // Тр. Академэнерго. 2009. № 2. С. 13.
14. *Kunick M., Kretzschmar H.-J., Gampe U.* Schnelle und flexible Berechnung thermodynamischer Stoffwerte mit Spline-Interpolation für die Modellierung instationärer Energieumwandlungsprozesse / In: Tagungsband der 13 Nachwuchswissenschaftlerkonferenz mitteldeutscher Fachhochschulen Görlitz. Ed. W. Honelamp, P. Schindler. Remscheid: Re Di Roma–Verlag, 2012. S. 209.