

## «Облачный» сервис по свойствам рабочих веществ холодильных установок

Очков В.Ф.<sup>1</sup>, д.т.н., Орлов К.А.<sup>1</sup>, к.т.н., Очков А.В.<sup>1</sup>, инж., Знаменский В.Е.<sup>1</sup>, асп, Волощук В.А.<sup>2</sup>, к.т.н., Чижмакова В.Ю.<sup>1</sup>, асп.

Национальный исследовательский университет МЭИ<sup>1</sup>

Национальный университет водного хозяйства и природопользования<sup>2</sup>

Описана технология расчетов холодильных установок, использующая ссылки на Интернет-функции («облачные» функции) по свойствам рабочих веществ.

Расчеты холодильных установок требуют знания термодинамических свойств рабочих веществ (хладагентов), задействованных в циклах. Когда такие расчеты ведутся *вручную*, то можно пользоваться «бумажными» таблицами по термодинамическим свойствам конкретных рабочих веществ (хладагентов) на линии насыщения и в однофазной области. Расчеты же на *компьютере* требуют специальных программных *функций*, возвращающих значения свойств рабочих веществ в зависимости от параметров цикла – давления, температуры и др.

Одной из самых распространенных и удобных программ по свойствам рабочих веществ и теплоносителей энергетики (включая промышленную и «бытовую» энергетику – энергетику, использующую небольшие установки с органическими рабочими телами) является программа WaterSteamPro [1-7]. После скачивания (download) этой программы с сайта [www.wspr.ru](http://www.wspr.ru) и установки ее на компьютере в теплотехнических расчетах<sup>3</sup> становятся видимыми более 300 функций не только по свойствам рабочих веществ, но и по некоторым процессам в термодинамических циклах.

Технология *скачивания* функций с сайтов Интернета (или установки их на компьютере с диска или с «флешки», если у рабочей станции нет выхода в Интернет) имеет один существенный недостаток, заключающийся в следующем.

Программы для компьютеров, в частности, программы для расчетов теплофизических свойств индивидуальных веществ и их смесей непрерывно дополняются и совершенствуются. Это в первую очередь связано и с тем, что появляются новые

---

<sup>1</sup> 111250, Россия, Москва, Красноказарменная ул., д. 14, НИУ МЭИ – [www.mpei.ru](http://www.mpei.ru)

<sup>2</sup> 33000, Украина, г. Ровно, ул. Соборная, 11

<sup>3</sup> А они могут вестись практически во всех программных средах: табличный процессор Excel, инженерный калькулятор Mathcad, язык программирования технических расчетов Matlab, язык символьный вычислений Maple, языки программирования высокого уровня C, BASIC, Pascal, fortran и др. В данной статье мы ограничились рассмотрением только пакета Mathcad.

формуляции (наборы формул с их описанием)<sup>4</sup>, определяющие порядок расчетов конкретных свойств конкретных веществ<sup>5</sup>. Кроме того, в существующих программах исправляются ошибки и неточности, расширяется область их применения, улучшаются их характеристики (быстродействие, объем занимаемой памяти компьютера и др.). Такие программы также непрерывно переделываются в связи с тем, что меняется аппаратная и программная часть компьютеров, используются, например, новые операционные системы. Пользователи программ по свойствам веществ часто не успевают за этими изменениями и работают с устаревшими версиями. Но это еще полбеда. Настоящая беда наступает тогда, когда пользователи меняют компьютер и/или операционную систему на нем, что часто приводит к тому, что старые программы перестают устанавливаться и запускаться на новых или обновленных компьютерах. Еще одно неудобство, связанное с технологией скачивания, – это накопление на компьютере пользователя ненужных программ и утилит, в которых пользователь начинает путаться.

В связи с этим, а также с учетом того факта, что в настоящее время почти все компьютеры, на которых ведутся инженерные расчеты и, в частности, расчеты холодильных установок, имеют постоянный скоростной выход в Интернет, авторами данной статьи была предложена новая технология работы с функциями по теплофизическим свойствам рабочих веществ, теплоносителей и материалов, базирующаяся не на *скачивании* программ, а на *ссылках* (reference) на функции, хранящиеся на сайтах Интернета – «в облаках».

Упомянутый справочник по теплофизическим свойствам рабочих веществ теплоэнергетики [1] был дополнен сайтом, который размещен на расчетном сервере Национального исследовательского университета МЭИ ([www.mpei.ru](http://www.mpei.ru)) и ООО «Триеру» ([www.trie.ru](http://www.trie.ru)). Этот сайт является частью расчетного сервера МЭИ, на котором можно найти данные и по теплофизическим свойствам хладагентов – см. рис. 1.

---

<sup>4</sup> Если говорить о воде и водяном паре (включая и растворы – морскую воду, например) – основном рабочем теле энергетики, то такие формуляции разрабатывает и утверждает Международная ассоциация по свойствам воды и водяного пара IAPWS – см. сайт [www.iapws.org](http://www.iapws.org).

<sup>5</sup> Конкретный пример. В сентябре 2011 г. Международная ассоциация по свойствам воды и водяного пара утвердила новую формуляцию для расчета теплопроводности воды и/или водяного пара. Пользователи, скачавшие программы будут еще долго работать со старыми программами. Пользователи, воспользовавшиеся новой информационной технологией, описанной в данной статье, сразу начнут работать с программной реализацией новой формуляции по теплопроводности воды и/или водяного пара.

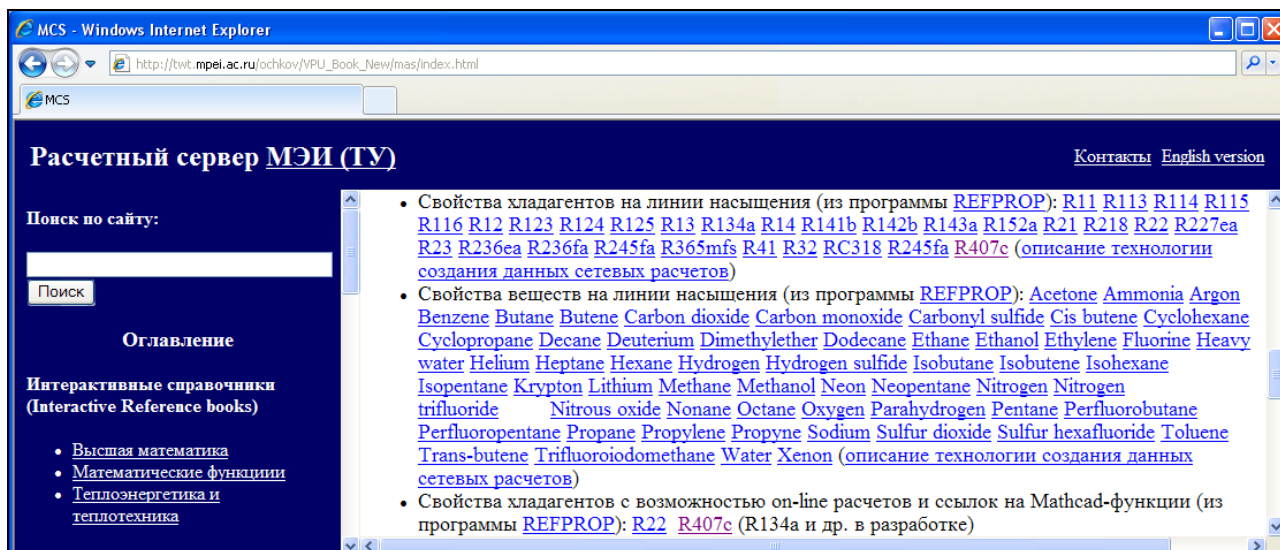


Рис. 1. Фрагмент расчетного сайта НИУ МЭИ и ООО «Триеру»

Кроме отмеченного справочника на расчетном сервере МЭИ-Триеру открыты и другие интерактивные сетевые справочники, полезные для энергетиков и теплотехников [4].

На рис. 2 можно видеть сайт расчетного сервера, к которому можно перейти по ссылке «Свойства хладагентов с возможностью on-line расчетов и ссылок на Mathcad-функции», показанной на рис. 1.

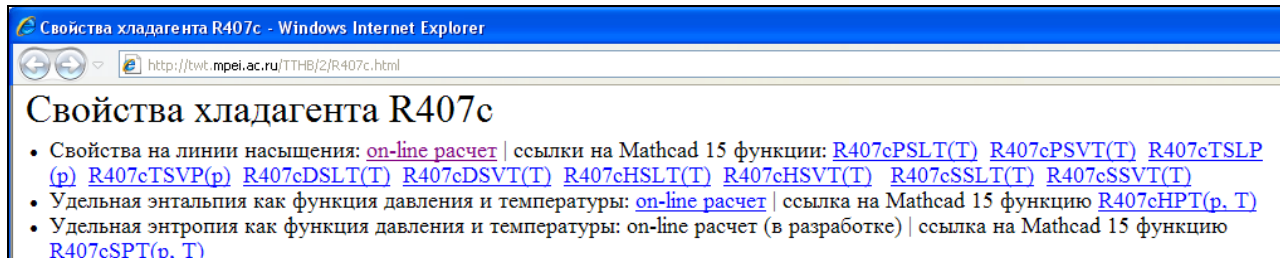


Рис. 2. Сайт, хранящий свойства хладагента R407c

Если посетителю сайта нужно уточнить, к примеру, удельную энтальпию хладагента R407c, то он должен перейти по соответствующей ссылке «On-line расчет – см. рис. 2» к расчетному документу, показанному на рис. 3.

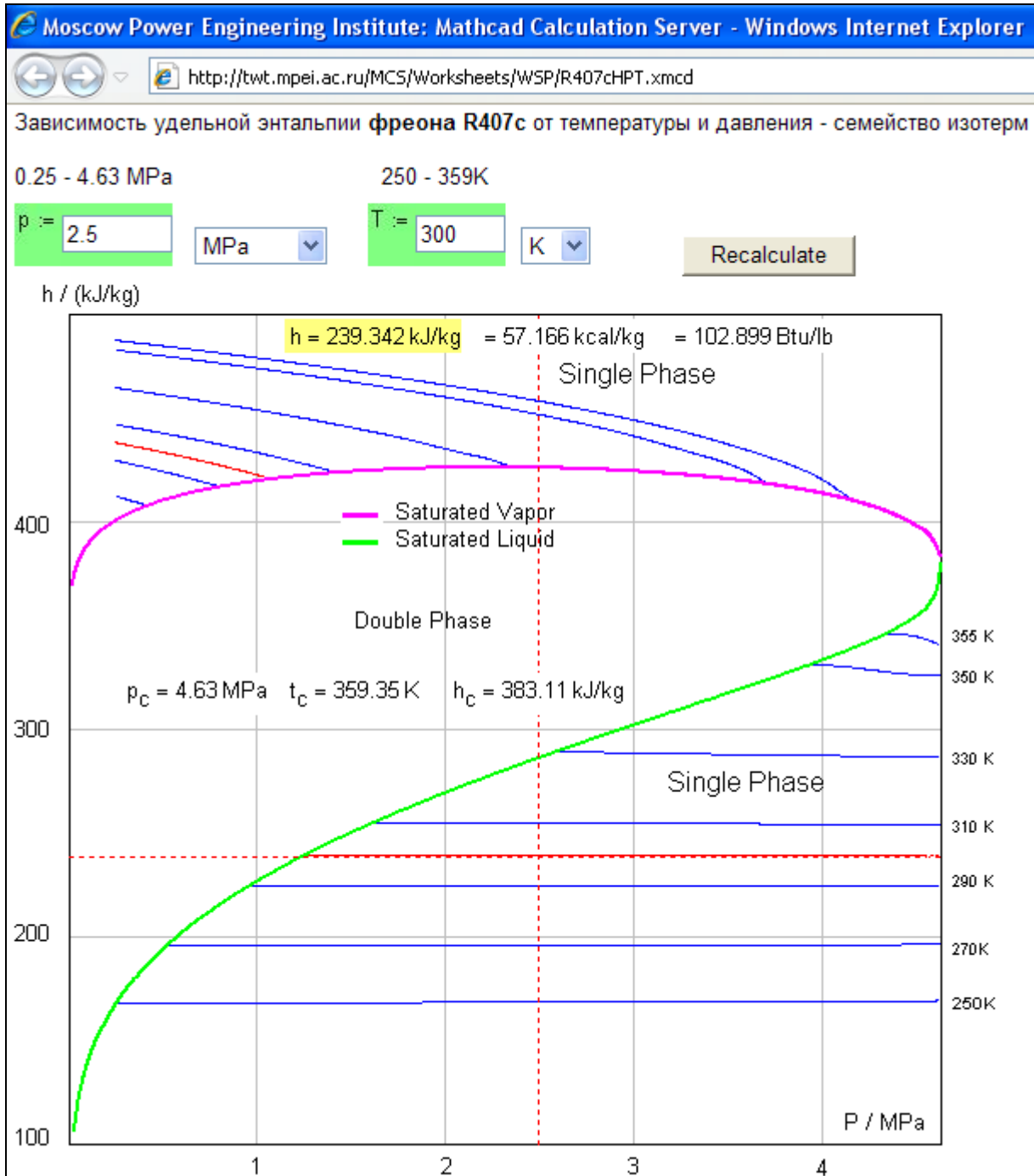


Рис. 3. On-line расчет удельной энтальпии хладагента R407c

На расчетном сайте, показанном на рис. 3, посетитель может изменить значения давления и температуры хладагента (с возможностью выбора единиц измерений) и «щелкнуть» по кнопке Recalculate (Пересчитать). После этого измененные исходные данные (значения давления и температуры) будут переданы на сервер, где будут обработаны, а ответ будет передан посетителю сайта не только в виде конкретного числа с разными единицами удельной энтальпии (кДж/кг, ккал/кг и Btu/lb – «бтушка на фунт»), но и изотермой в

семействе других изотерм с фиксацией расчетной точки. Это позволяет посетителю сайта четко видеть, где находится его расчетная точка – в области жидкости (нижняя область диаграммы), в области перегретого пара (верхняя часть диаграммы), вблизи критической точки (правая диаграммы) и т.д.

Инженерный калькулятор Mathcad (а расчетная программа, показанная на рис. 3 создана именно с его помощью) – очень удобное средство для решения различных инженерных, в том числе и задач по термодинамическим циклам [8]. В среде Mathcad запись формул ведется в естественной нотации, что выгодно отличает его от традиционных языков программирования и электронных таблиц. В среде Mathcad есть возможность использовать единицы измерения для контроля правильности вычислений и для более удобного отображения результатов (см. рис. 3, например). Подробнее об этом будет сказано ниже. Результаты расчетов в среде Mathcad иллюстрируются графиками, диаграммами и анимациями. Эти и другие полезные качества пакета Mathcad сделали его одним из самых популярных средств решения инженерно-технических задач на компьютере.

В среде Mathcad есть возможность *ссылки (reference)* на другой Mathcad-документ, переменные и функции которого становятся *доступными* (как говорят программисты – *видимыми*) в Mathcad-документе, из которого делается соответствующая ссылка. Пользователю Mathcad не нужно открывать и вставлять в свой расчет другой расчетный документ – достаточно сделать ссылку на интересующий его файл. После этого пользователь может использовать функции, запрограммированные в нем, так, как если бы они уже были созданы в его собственном документе. Такую ссылку можно делать не только на Mathcad-документы (файлы с расширением \*.mcd, \*.mcdz, \*.xmcd, \*.xmcdz, \*.mcdx и \*.mcdxz), хранящиеся на рабочей станции или в локальной компьютерной сети, но и на сайтах Интернета. Это открывает широкие возможности для реализации новой технологии инженерных расчетов.

На рис. 4, 5 и 6 в качестве примера «облачного» вызова функций по свойствам хладагента показан расчет в среде Mathcad термодинамического цикла простейшей идеальной холодильной установки. Этот расчет выложен в Интернете по адресу: <http://twf.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/PTU/RefrMachine-R407c.xmcd> для открытого интерактивного использования без установки на компьютере программы Mathcad. Если же на компьютере пользователя программа Mathcad установлена, то скачать расчет для работы с ним можно по адресу <http://twf.mpei.ac.ru/ТТНВ/2/RefrMachine-R407c.xmcdz>.

### Расчет идеальной холодильной машины (ХМ) с хладагентом (х.а.) R407c

Температура сухого пара х.а. на линии насыщения в испарителе ХМ

$t''_{ev} :=$   °C

Температура сухого пара х.а. на линии насыщения в конденсаторе ХМ

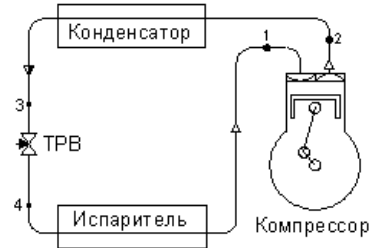
$t''_{cd} :=$   °C

Перегрев в испарителе ХМ

$\Delta t_{ev} :=$   K

Переохлаждение в конденсаторе ХМ

$\Delta t_{cd} :=$   K



#### Решение

Ссылка на функцию, возвращающую давление сухого пара х.а. на линии насыщения в зависимости от температуры

Ссылка: <http://tw.t.mpei.ac.ru/TTNB/2/R407cPSVT.xmcdz>  
 $p_{ev} := R407cPSVT(t''_{ev}) = 0.385 \text{ MPa}$      $p_{cd} := R407cPSVT(t''_{cd}) = 1.02 \text{ MPa}$

Ссылка на функцию, возвращающую температуру жидкого х.а. на линии насыщения в зависимости от температуры

Ссылка: <http://tw.t.mpei.ac.ru/TTNB/2/R407cTSLP.xmcdz>  
 $t'_{ev} := R407cTSLP(p_{ev}) = -11.42 \text{ °C}$      $t'_{cd} := R407cTSLP(p_{cd}) = 19.4 \text{ °C}$

Ссылка на функцию, возвращающую удельную энтальпию жидкого х.а. на линии насыщения в зависимости от температуры

Ссылка: <http://tw.t.mpei.ac.ru/TTNB/2/R407cHSLT.xmcdz>  
 $h'_{ev} := R407cHSLT(t'_{ev}) = 184.007 \text{ kJ/kg}$      $h'_{cd} := R407cHSLT(t'_{cd}) = 228.239 \text{ kJ/kg}$

Ссылка на функцию, возвращающую удельную энтропию жидкого х.а. на линии насыщения в зависимости от температуры

Ссылка: <http://tw.t.mpei.ac.ru/TTNB/2/R407cSSLT.xmcdz>  
 $s'_{ev} := R407cSSLT(t'_{ev}) = 0.941 \text{ kJ/(kg K)}$      $s'_{cd} := R407cSSLT(t'_{cd}) = 1.098 \text{ kJ/(kg K)}$

Ссылка на функцию, возвращающую удельную энтальпию сухого пара х.а. на линии насыщения в зависимости от температуры

Ссылка: <http://tw.t.mpei.ac.ru/TTNB/2/R407cHSVT.xmcdz>  
 $h''_{ev} := R407cHSVT(t''_{ev}) = 406.916 \text{ kJ/kg}$      $h''_{cd} := R407cHSVT(t''_{cd}) = 420.031 \text{ kJ/kg}$

Ссылка на функцию, возвращающую удельную энтропию сухого пара х.а. на линии насыщения в зависимости от температуры

Ссылка: <http://tw.t.mpei.ac.ru/TTNB/2/R407cSSVT.xmcdz>  
 $s''_{ev} := R407cSSVT(t''_{ev}) = 1.782 \text{ kJ/(kg K)}$      $s''_{cd} := R407cSSVT(t''_{cd}) = 1.748 \text{ kJ/(kg K)}$

$$p_1 := p_{ev} \quad p_2 := p_{cd}$$

При отсутствии потерь давления в конденсаторе и испарителе холодильной машины:

$$p_3 := p_2 \quad p_4 := p_1$$

Температуры х.а. на выходе из испарителя/конденсатора с учетом перегрева/переохлаждения.

$$t_1 := t''_{ev} + \Delta t_{ev} = 2 \text{ °C}$$

$$t_3 := t'_{cd} - \Delta t_{cd} = 15.396 \text{ °C}$$

Ссылка на Интернет-функцию, возвращающую удельную энтальпию х.а. в однофазной области зависимости от давления и температуры

Ссылка: <http://tw.t.mpei.ac.ru/TTNB/2/R407cHPT.xmcdz>  
 $h_1 := R407cHPT(p_1, t_1) = 413.356 \text{ kJ/kg}$      $h_3 := R407cHPT(p_3, t_3) = 222.284 \text{ kJ/kg}$

Ссылка на Интернет-функцию, возвращающую удельную энтропию х.а. в однофазной области зависимости от давления и температуры

Ссылка: <http://tw.t.mpei.ac.ru/TTNB/2/R407cSPT.xmcdz>

$$s_1 := R407cSPT(p_1, t_1) = 1.806 \text{ kJ/(kg K)} \quad s_2 := s_1 = 1.806 \text{ kJ/(kg K)} \quad s_3 := R407cSPT(p_3, t_3) = 1.078 \text{ kJ/(kg K)}$$

Параметры паров х.а. после сжатия в компрессоре:

$$t_2 := t_1 \quad \text{Given } R407cSPT(p_2, t_2) = s_2 \quad t_2 := \text{Find}(t_2) = 41.47 \text{ °C}$$

$$h_2 := R407cHPT(p_2, t_2) = 437.819 \text{ kJ/kg}$$

Параметры х.а. на входе в испаритель холодильной машины:

$$h_4 := h_3 \quad x_4 := \frac{h_4 - h'_{ev}}{h''_{ev} - h'_{ev}} = 17.17 \% \quad s_4 := s'_{ev} + x_4 \cdot (s''_{ev} - s'_{ev}) = 1.0853 \text{ kJ/(kg K)} \quad t_4 := t'_{ev} + x_4(t''_{ev} - t'_{ev}) = -10.321 \text{ °C}$$

**Удельная массовая холодопроизводительность**

$$q_e = h_1 - h_4 = 191.073 \text{ kJ/kg}$$

**Удельная массовая теплота конденсации**

$$q_c = h_2 - h_3 = 215.536 \text{ kJ/kg}$$

**Удельная адиабатная работа сжатия**

$$l_a = h_2 - h_1 = 24.463 \text{ kJ/kg}$$

**Теоретический коэффициент преобразования ХМ**

$$\text{COP}_a = \frac{q_e}{l_a} = 7.811$$

Рис. 4. Расчет холодильной установки в среде инженерного калькулятора Mathcad

Расчет, как обычно, начинается с ввода исходных данных. Для рассчитываемой холодильной установки (ее схема показана на рис. 4) – это температуры пара хладагента в испарителе и конденсаторе холодильной машины, а также перегрев хладагента в испарителе и переохлаждение в конденсаторе. Если пользователь вводит нулевые значения перегрева/переохлаждения, расчет параметров (удельной энтальпии, энтропии) х.а. в однофазной области не производится, а при щелчке левой кнопкой мыши на функции расчета этих параметров выводится информационное окно, где содержится сообщение: «точка находится в области насыщения»; т.е. расчет с использованием функций, определяющих свойства рабочего тела в однофазной области, невозможен.

Потерями давления по тракту холодильной установки мы в данном расчете пренебрегли для его упрощения. Эти и другие допущения несложно учесть в расчете. Несложно также отойти от «идеальности» цикла – учесть, что в компрессоре энтропия хладагента увеличивается ( $s_2 > s_1$ ), а энтальпия хладагента при дросселировании в терморегулирующем вентиле (ТРВ) несколько уменьшается ( $h_4 < h_3$ ). В Интернете по адресу <http://twf.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/PTU/Vv-27.xmcd> расположен открытый интерактивный расчет коэффициента трансформации цикла пароконденсационного теплового насоса с рабочим, где эта «неидеальность» учтена.

Чтобы рассчитать давление хладагента в испарителе и конденсаторе холодильной установки, нужно знать соответствующую зависимость давления от температуры на линии насыщения. Как правило, инженеры в этом случае обращаются к таблицам, где данная зависимость «пропечатана» дискретными значениями давления и температуры, делают при необходимости интерполяцию данных и вводят полученный результат (давление) в расчет. Другой сценарий – инженер делает расчет по некой формуле, описывающей зависимость температуры от давления на линии насыщения. Так или иначе, инженер отвлекается от решения основной задачи и ведет поиск и интеграцию в расчет функций, возвращающей термодинамические свойства хладагента, или на «ручной» расчет и ввод нужного значения. Вот тут-то ему может существенно помочь сайт, описываемый в данной статье.

Вернемся к рис. 2. На нем можно видеть ссылку с именем R407cPSVT(T), следуя которой можно скачать Mathcad-функцию с именем R407cPSVT(T), возвращающую давление сухого насыщенного пара хладагента R407c в зависимости от температуры. Но

можно не скачивать эту функцию и не вставлять ее в свой расчет – достаточно сделать Интернет-ссылку на эту функцию.

Если к ссылке R407cPSVT(T), показанной на рис. 2, подвести курсор мыши и нажать ее правую кнопку, то появится диалоговое окно, где можно найти, позицию «Свойства». Если щелкнуть по этой позиции, то откроется еще одно диалоговое окно (см. рис. 5), где можно видеть и скопировать в буфер обмена соответствующий адрес, по которому в Интернете хранится нужная для нашего расчета функция. Чтобы эта функция стала видимой в расчете холодильной установки, необходимо в рабочем Mathcad-документе сделать соответствующую ссылку на нее. Эта операция показана на рис. 6: в среде Mathcad из меню Вставка отдается команда Ссылка и в текстовую область появившегося диалогового окна вставляется адрес, скопированный из сайта, показанного на рис. 2 и 5.

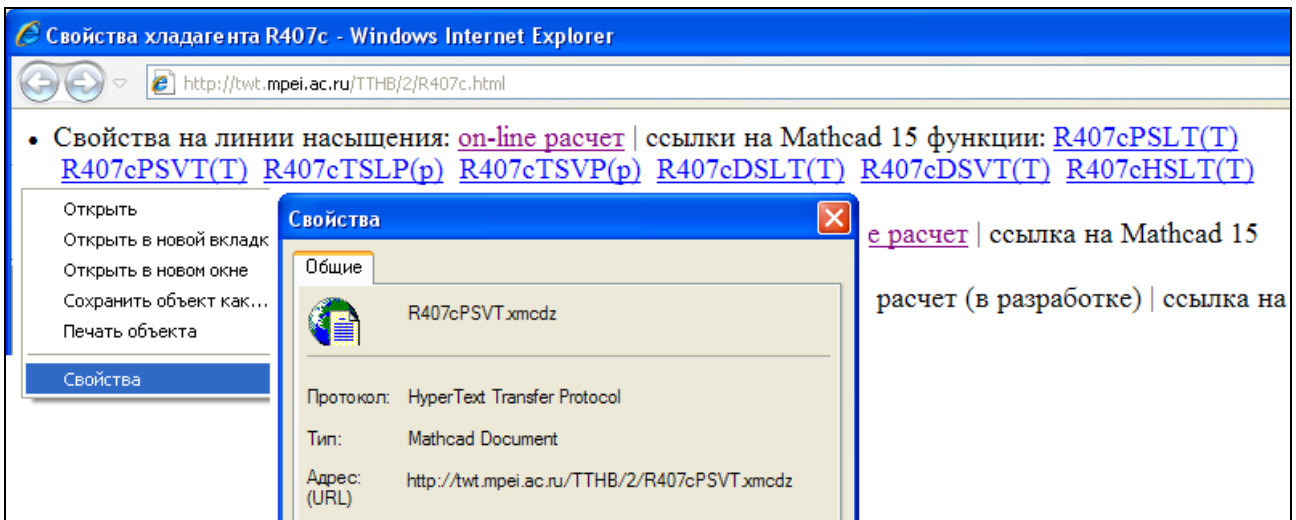


Рис. 5. Свойство ссылки на Интернет-функцию

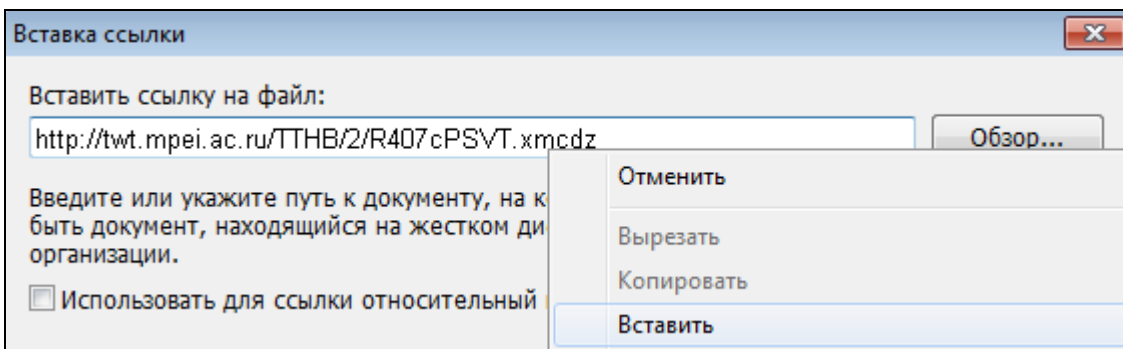


Рис. 6. Вставка ссылки на Интернет-функцию в расчет холодильной установки



После такой вставки (см. рис. 4) можно рассчитать нужные давления  $p_{ev}$  и  $p_{cd}$  хладагента R407a и вывести полученные значения «на печать»:  $p_{ev} := R407cPSVT(t'_{ev}) = \dots$  (Примечание: давление выводится «на печать» в паскалях, но пользователь волен вывести его с другими единицами давления, в МПа, например, как показано на рис. 4). Давления  $p_{ev}$  и  $p_{cd}$  рассчитываются по заданным температурам с помощью функций, описывающих свойства сухого пара на линии насыщения. Хладагент R407C – зетропная смесь (Примечание: зетропная смесь — это механическая смесь хладагентов с различными температурами насыщения при одном и том же давлении) фреонов R32/R125/R134a (массовые доли составляют соответственно 23/25/52%). Температурное «глайд» (скольжение) для данного рабочего тела достаточно высок и составляет приблизительно 5-7К, таким образом, расчет цикла холодильной машины с использованием данного фреона был бы неверным без его учета. Поэтому температура конденсации (испарения) фреона не принимается постоянной, и с помощью функций, определяющих свойства жидкого х.а. на линии насыщения, температуры  $t'_{ev}$  и  $t'_{cd}$  рассчитываются по уже известным давлениям  $p_{ev}$  и  $p_{cd}$ . Далее для определения параметров фреона в характерных точках цикла используются соответствующие функции, которые описывают свойства х.а. в однофазной области.

Таким образом, можно за счет Интернет-ссылок сделать видимыми все нужные для расчета функции по термодинамическим свойствам хладагента R407c.

После того, как все нужные функции стали видимы в расчете, несложно рассчитать холодильную установку – см. рис. 4. Для расчета недоставало только функции, возвращающей температуру хладагента в однофазной области в зависимости от давления и удельной энтропии, – одной из двух обратных функций функции R407cSPT( $p, T$ ). Эту обратную функцию можно, конечно, создать и разместить на сайте, показанном на рис. 2 и 5. Но мы поступили иначе – мы воспользовались встроенной в Mathcad функцией Find, решающей обратную задачу и возвращающей значение  $t_2$ , при котором функция R407cSPT( $p_2, t_2$ ) вернет значение  $s_2$  (поиск нуля функции).

Когда в расчете есть под рукой все нужные функции по свойствам хладагента, то несложно построить  $T, s$  и  $p, h$  – диаграммы цикла холодильной установки. Методика построения таких диаграмм описана в [9].

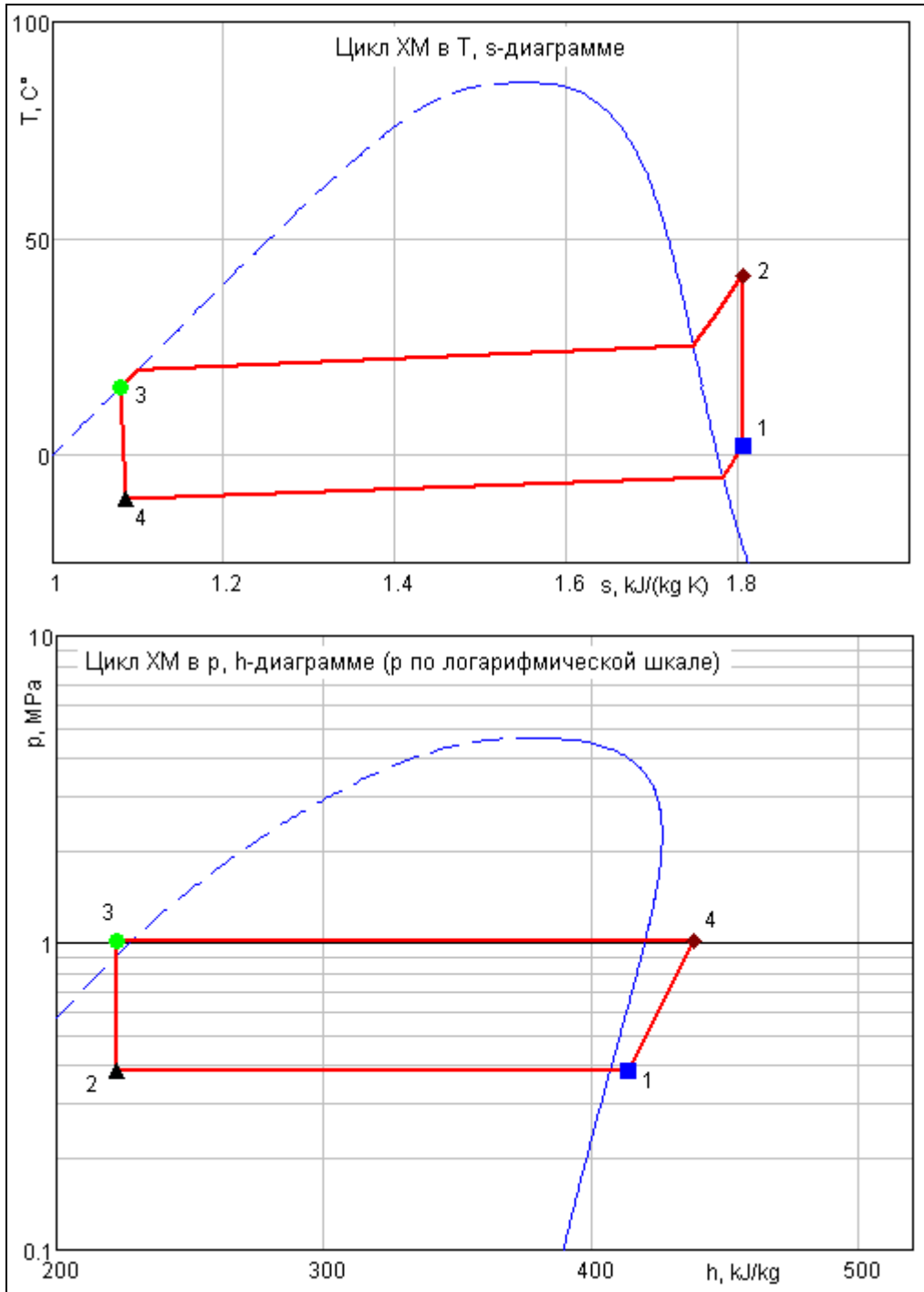


Рис. 7.  $T, s$  и  $p, h$  – диаграммы цикла холодильной установки

Таким образом, можно сделать доступными все функции, необходимые для расчета холодильной установки. Данный расчет будет работать на любом компьютере с установленной программой Mathcad и имеющем доступ в Интернет. Сам Mathcad-файл задачи, описанной в статье, повторяем, можно скачать из Интернета по адресу <http://tw.t.mpei.ac.ru/ТТНВ/2/RefrMachine-R407c.xmcdz>.

Пользователь компьютера при желании может щелкнуть левой кнопкой мышки по любой ссылке, показанной на рис. 4, загрузить и открыть Mathcad-документ, хранящий соответствующую функцию, для автономной работы с ней. Этот документ можно сохранить на рабочей станции (на своем компьютере) или в локальной компьютерной сети своей организации и ссылаться уже на него в новом месте хранения – не в Интернете (в «облаках»), а в локальном («приземленном») месте. Это делается в том случае, если связь с Интернетом не вполне надежна или ограничена. Но в этом случае лучше сразу «загрузить» на свой компьютер *все* функции по свойствам рабочих веществ теплоэнергетики, запросив диск у разработчиков или обратившись один раз к сайту WaterSteamPro (о ней упоминалось в начале статьи).

Технологии *ссылок* и *скачивания*, описанные в данной статье, имеют свои плюсы и минусы. Компромиссная (промежуточная) информационная технология – это установка на своем компьютере программы WaterSteamPro и регулярное ее обновление. Если же теплотехнические расчеты ведутся на компьютерах с надежной связью с Интернетом, то можно применять технологию ссылок, описанную в данной статье. Технология ссылок на Интернет-функции открывает пользователям доступ к богатому набору других полезных теплоэнергетикам функций, размещенных на расчетном сервере НИУ МЭИ – ООО «Триеру».

Данная работа выполняется в рамках проекта Национальный исследовательский университет МЭИ: «Информационная поддержка энергетики, энергоэффективности и энергосбережения – создание центра по теплофизическим свойствам веществ и решений для энергетики». Функции по термодинамическим свойствам хладагентов созданы путем сплайн-интерполяции данных, выдаваемой программой NIST ([www.nist.gov](http://www.nist.gov)) REFPROP (<http://www.nist.gov/srd/nist23.htm>) [10].

### ***Литература:***

1. 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>)
2. Александров А.А., Очков В.Ф., Орлов К.А., Очков А.В. Теплофизические свойства воды и водяного пара в Интернете // Промышленная энергетика № 2, 2007 (<http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/WspIn>).
3. Очков В. Ф., Волошук В.А. Современные информационные технологии для теплоэнергетики: облачные функции по свойствам рабочих тел, расчеты циклов паротурбинных, газотурбинных, парогазовых установок и тепловых насосов // Тезисы докладов 7-й Международной научно-технической конференции «Современные проблемы холодильной

- техники и технологии» Украина, Одесса, 14-16 сентября 2011 г. С. 27-29 (<http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/WSPHB/Odessa-2011.pdf>).
4. Очков В.Ф. Теплотехнический справочник в Интернете // Новое в российской электроэнергетике, № 5, 2005 ([http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/VPU\\_Book\\_New/mas/NRE\\_5\\_5](http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/VPU_Book_New/mas/NRE_5_5))
  5. Очков В.Ф., Александров А.А., Волощук В.А., Дорохов Е.В., Орлов К.А. Интернет-расчеты термодинамических циклов // Теплоэнергетика, № 1, 2009 (<http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/TE-1-2009/P77.png> <http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/TE-1-2009/P78.png> <http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/TE-1-2009/P79.png> <http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/TE-1-2009/P80.png>)
  6. Очков В.Ф., Александров А.А., Орлов К.А., Волощук В.А., Очков А.В. Сетевые расчеты процессов и циклов теплоэнергетических установок // Новое в российской электроэнергетике, №10, 2008 (<http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/WSPHB/NREE-2008-2/index.html>)
  7. 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, № 6, 2011 (<http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/WSPHB/Ochkov-Znamensky-Web-Rankine.html>)
  8. Очков В.Ф., Утенков В.Ф., Орлов К.А. Теплотехнические расчеты в среде Mathcad // Теплоэнергетика, № 2, 2000
  9. Очков В.Ф. Построение диаграмм термодинамических циклов: шаг за шагом // Автоматизация и ИТ в энергетике. №2-3, 2009. С. 6-15 (<http://twf.mpei.ac.ru/ТТНВ/2/ThermCycleMCS-Create.html>)
  10. Очков В.Ф. Публикация в Интернете теплофизических свойств веществ: проблемы и решения при работе с таблицами // Труды Академэнерго, № 2, 2009 (<http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/TablSite>)