

УДК 621.1.36.7(035.5)

“Облачные” функции и шаблоны инженерных расчетов для АЭС© 2014 г. Очков В.Ф.^{1,2}, Орлов К.А.^{1,2}, Чжо Ко Ко¹Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”¹ –
Объединенный институт высоких температур РАН²

e-mail: OchkovVF@mpei.ru

Статья посвящена важной проблеме – организации компьютерных проектных расчетов различных схем и энергетического оборудования с использованием шаблонов и стандартных программ, имеющихся в Интернете. Сообщается о разработанной интернет-технологии проведения таких расчетов с применением шаблонов, доступных в пакете Mathcad Prime. Рассмотрение ее проводится на примере решения двух задач, относящихся к сфере атомной энергетики.

Ключевые слова: теплотехнические расчеты, Mathcad, теплофизические свойства рабочих тел и теплоносителей АЭС.

DOI: 10.1134/S0040363614100099

При решении научно-технических и инженерных задач, в частности задач проектирования АЭС, необходимо знать свойства рабочих тел, теплоносителей и материалов АЭС, а также параметров рассчитываемых процессов [1]. В настоящее время почти все подобные расчеты ведутся на компьютерах с использованием специализированных программ или различных инженерных калькуляторов, а также неоправданно часто табличного процессора Excel. Компьютеры, на которых проводятся расчеты, как правило, имеют выход в Интернет, и специалист, проводящий расчеты, обращается за справкой не к полке с книгами, а к... мышке компьютера. Дело в том, что сейчас почти вся научно-техническая информация перенесена с бумажных носителей в Интернет [2]. В данной статье будет показано, как можно эффективно использовать “всемирную паутину” и локальную сеть своей организации для решения не сложных, но типичных задач по расчету некоторых процессов, происходящих на АЭС [3].

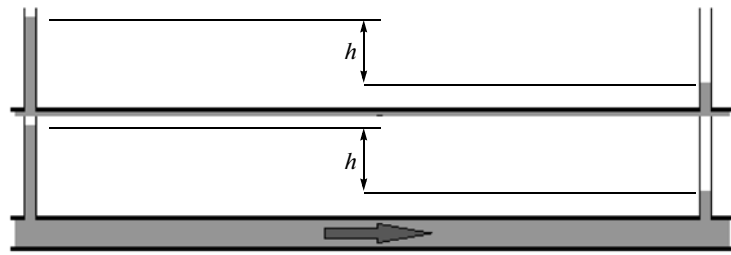
Для расчетов энергетических объектов созданы, сертифицированы и успешно эксплуатируются мощные компьютерные программы. Эти программы работают по принципу “черного ящика”, куда кладут массивы исходных данных, “закрывают крышку ящика” (нажимают кнопку “Рассчитать”), “открывают крышку ящика и вынимают из него” ответ – параметры проектируемого теплотехнического объекта. Но всегда хочется иметь хотя бы общее представление о том,

что находится в этом “черном ящике”, знать, правильны ли расчеты, видеть промежуточные результаты и все формулы, по которым они ведутся. Кроме того, приоткрывать крышку такого ящика полезно в целях самообразования – для изучения математических моделей, заложенных в расчеты. Еще одна актуальная причина заглянуть в “черный ящик” – это участвовавшие случаи некорректного применения готовых модулей расчета к конкретным инженерным задачам, связанные с отсутствием открытых данных о границах применимости использованных в модулях численных математических методов, и обусловленные такой некорректностью неустраняемые ошибки.

Нужно также помнить, что всякого рода мощные программы для теплотехнических расчетов нельзя использовать для не стандартной, но актуальной и оперативной задачи, которую можно в принципе решить и “ручкой на бумаге”, но для ускорения расчетов и исключения ошибок эти расчеты проводятся на компьютере. Кроме того, нужно не забывать, что “программы-монстры” стоят больших денег, надежно защищены от копирования, требуют сложного и дорогостоящего сервисного обслуживания посторонними специалистами и что на их изучение требуется много времени и сил, которых всегда не хватает.

Для тех же компьютеров (рабочих станций) созданы универсальные, недорогие (а в некоторых случаях даже бесплатные) и простые в освоении программы для инженерных и научно-технических расчетов: Excel, Mathcad, Matlab, Maple, Mathematica, SMath и др. Триаде “универсальность-дешевизна-доступность” лучше всего соответствует пакет

¹ 111250, Москва, Красноказарменная ул., д. 14. НИУ МЭИ.² 125412, Москва, Ижорская ул., д. 13. ОИВТ РАН.



Исходные данные Внутренний диаметр трубы: $d := 10 \text{ mm}$ Длина трубы: $L := 50 \text{ m}$
 Относительная шероховатость внутренней поверхности трубы: $\Delta := 0.0005$

Температура: $t := 30^\circ\text{C}$

Расход жидкости: $Q := 15 \frac{\text{liter}}{\text{min}}$

Решение

со ссылками на “облачные” функции Reference: <http://tw.t.mpei.ru/ТТНВ/D2O.xmcdz>

Сечение трубы: $F := \pi \frac{d^2}{4} = 0.785 \cdot \text{cm}^2$

Скорость в трубе: $v := \frac{Q}{F} = 3.18 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Плотность тяжелой воды: $\rho := \rho_{D2O}(t) = 1103.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Динамическая вязкость: $\mu := \mu_{D2O}(t) = 9.724 \times 10^{-4} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$

Кинематическая вязкость: $\nu := \frac{\mu}{\rho} = 8.814 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

Число Рейнольдса: $Re := \frac{v \cdot d}{\nu} = 36114$

Коэффициент сопротивления трения – функция относительной шероховатости Δ и Re

Ссылка: <http://tw.t.mpei.ru/GDHB/La-De-Re-Formulas.xmcdz> $\lambda := \lambda_{\text{friction}}(\Delta, Re) = 0.0243$

Потеря напора: $h := \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 62.78 \text{ m}$

Потеря давления $\Delta p := \rho \cdot g \cdot h = 6.7 \text{ atm}$

Рис. 1. Расчет потери напора в трубопроводе с тяжелой водой

Mathcad, одна из версий которого Mathcad Express (<http://www.ptc.com/product/mathcad/free-trial>) передается пользователям бесплатно.

Основным рабочим телом атомной энергетики являются вода и водяной пар [2]. Технологию использования “облачных” функций и шаблонов по свойствам рабочих тел и теплоносителей атомной энергетики в среде Mathcad рассмотрим на двух типовых задачах с не совсем “типовыми” теплоносителями – тяжелой водой и жидким натрием.

Задача 1. Расчет потери напора в трубопроводе с тяжелой водой (рис. 1).

Для решения задачи о потере напора в трубопроводе инженер должен вспомнить или найти в справочниках, бумажных или интернетовских (в web-справочниках), набор соответствующих расчетных формул и правила их применения – формуляции. Кроме того, инженеру необходимо знать некоторые свойства жидкости, протекающей по трубе, – тяжелой воды. В частности, для данной задачи – это ее плотность ρ и кинематическая вязкость ν . Значения этих свойств тяжелой воды в справочниках приводятся в виде таблиц или эмпирических формул, связывающих плотность и вязкость с температурой и давлением. Но специалист при переносе чисел из таблицы в конкретный расчет может допустить ошибку, связанную с неправильной интерполяцией и даже с

ошибочным набором цифр на клавиатуре компьютера и/или неверной интерпретацией единиц измерения плотности или вязкости и множителя при них. Все это усложняет и тормозит расчеты, повышает вероятность ошибок в них.

В НИУ “Московский энергетический институт” (www.mpei.ru) на кафедре технологии воды и топлива совместно с Объединенным институтом высоких температур РАН (www.jiht.ru) и ООО “Триеру” (www.trie.ru) разработана новая интернет-технология работы со свойствами рабочих тел, теплоносителей и материалов атомной энергетики, исключая ручной перенос данных из бумажного или интернетовского справочника.

Если для расчета, проводимого в среде Mathcad 15, нужны сведения о теплофизических свойствах тяжелой воды, то необходимо и достаточно сделать ссылку на файл с именем D2O.xmcdz, хранящийся по адресу <http://tw.t.mpei.ru/ТТНВ>. Эта ссылка с соответствующим комментарием показана в расчете на рис. 1. После этого станут видимы функции, возвращающие теплофизические свойства тяжелой воды в зависимости от температуры при атмосферном давлении (допущение), в частности плотность и динамическую вязкость.

В расчете, показанном на рис. 1, есть также ссылка на файл, хранящий “облачную” функ-

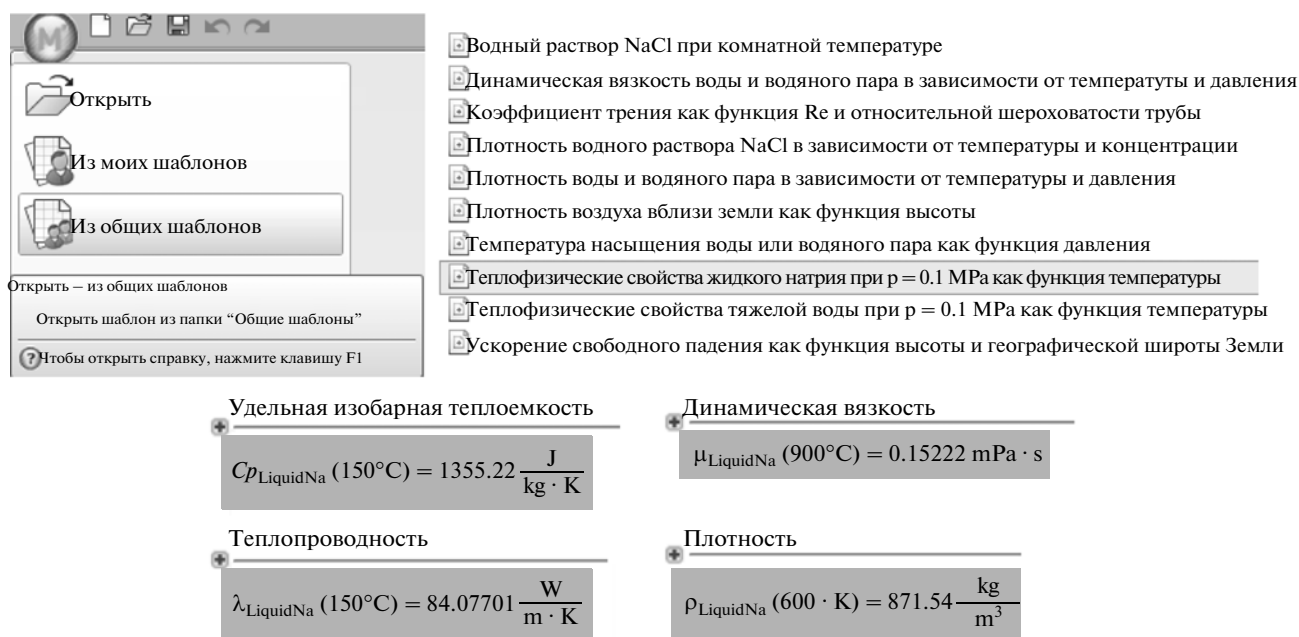


Рис. 2. Шаблоны в среде Mathcad Prime

цию, возвращающую коэффициент трения жидкости в трубе в зависимости от числа Рейнольдса и относительной шероховатости внутренней поверхности трубы с учетом ламинарного, переходного и турбулентного режимов течения жидкости. Этот коэффициент присутствует в формуле, по которой рассчитывается потеря напора в трубопроводе.

Прямое использование “облачных” функций через ссылки на них, как это показано на рис. 1, имеет одно существенное ограничение. Дело в том, что некоторые “солидные” организации ограничивают или вовсе блокируют прямой выход своих сотрудников в Интернет с рабочих станций. Это делается и в целях безопасности, и для того, чтобы сотрудники не отвлекались от основной работы, заходя на новостные и развлекательные сайты, общаясь с друзьями в социальных сетях и т.д. На компьютере, отключенном от Интернета, расчет, показанный на рис. 1, работать не будет, а ссылки, включенные в него (<http://...>), примут красный цвет, что будет указывать на аварийную

ситуацию. В этом случае можно рекомендовать сделать следующее.

Администратор компьютерной сети в организации, где заблокирован выход в Интернет с рабочих станций рядовых сотрудников, может по просьбе конкретного расчетчика скачать нужную функцию, проверить ее на отсутствие вирусов и “троянов” и разместить в локальной сети или на некоторых рабочих станциях. На скачанную, проверенную и размещенную в организации функцию можно опять же сослаться, а можно просто встраивать ее в расчет, что, в отличие от относительных ссылок, не будет приводить к сбою при переносе расчета с одного компьютера на другой. Из скачанного файла можно сделать шаблон и разместить его в локальной сети организации.

На рис. 2 показан пример самостоятельно сделанного пользователем списка шаблонов на основе материалов, размещенных на сайте <http://twt.mpei.ru/ТТНВ>. В этот перечень шаблонов входят заготовки документов Mathcad Prime, хранящих функции по свойствам рабочих тел, тепло-

$$\Delta h(L, d, q, \Delta) = \left| \left[\begin{array}{l} F \leftarrow \pi \frac{d^2}{4} \quad v \leftarrow \frac{q}{F} \quad v \leftarrow \frac{\mu_{\text{LiquidNa}}(t)}{\rho_{\text{LiquidNa}}(t)} \quad \text{Re} \leftarrow \frac{vd}{\nu} \\ \lambda_{\text{friction}}(\Delta, \text{Re}) \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \end{array} \right] \right|$$

Рис. 3. Потеря напора на участках трубопровода

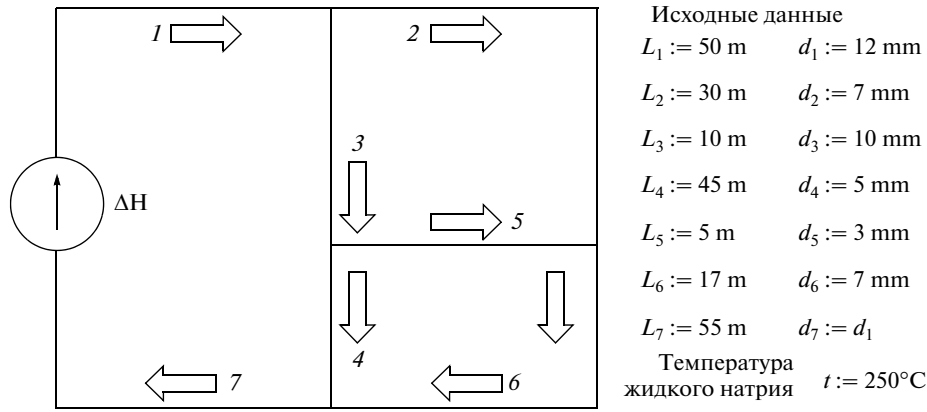


Рис. 4. Расчет гидравлической сети с жидким натрием (начало). 1–7 – участки трубопроводов

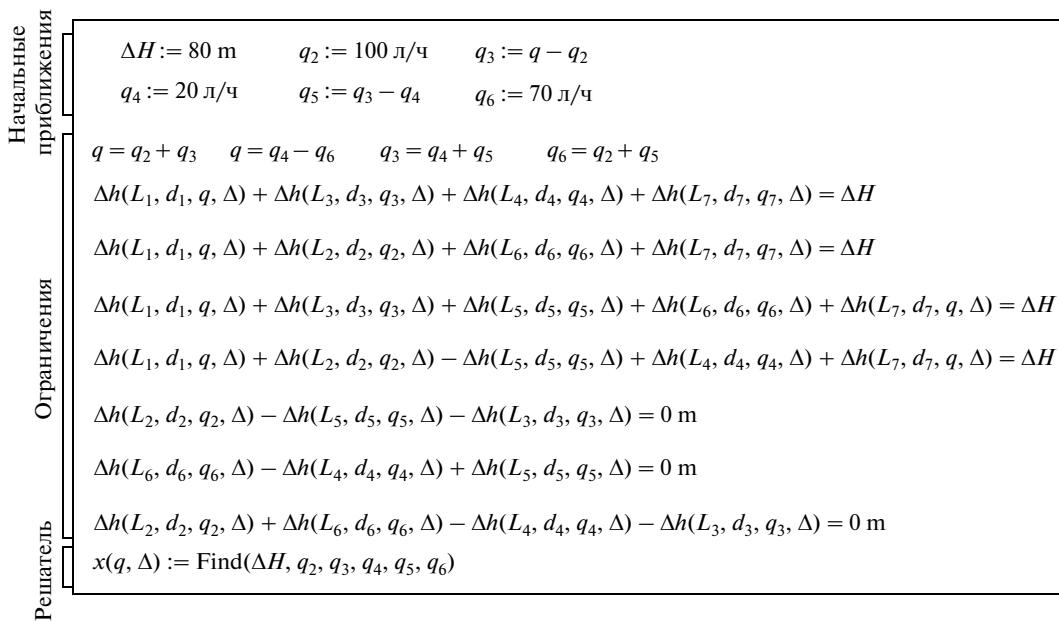


Рис. 5. Расчет гидравлической сети с жидким натрием (продолжение)

носителей и материалов тепловой, атомной и промышленной энергетики.

Если открыть шаблон, выделенный серым цветом на рис. 2, то будет открыт документ с функциями по свойствам жидкого натрия, который является теплоносителем в некоторых ядерных энергетических установках. В нижней части рис. 2 показаны четыре свернутые области с данными функциями и примерами их вызова. В расчет также перенесена из другого шаблона функция, возвращающая коэффициент трения жидкости в трубе, и добавлена функция, связывающая потерю напора на участке трубопровода с его длиной, диаметром, объемным расходом жидкости и шероховатостью внутренней поверхности труб (рис. 3).

Документ, созданный на основе шаблона (см. рис. 2), будет содержать уже определения всех необходимых функций по свойствам жидкого натрия. Имея их под рукой, пользователь сможет провести расчет, например, некой трубной системы с данной жидкостью. На рис. 4 показана схема трубопровода и приведены исходные данные для такого расчета – дополнение документа, показанного на рис. 2 и 3.

Задача 2. Необходимо построить графическую зависимость расхода жидкого натрия через насос от его напора и относительной шероховатости внутренней поверхности труб. Допущения в расчете, которые несложно снять: трубная система расположена в горизонтальной плоскости, ло-

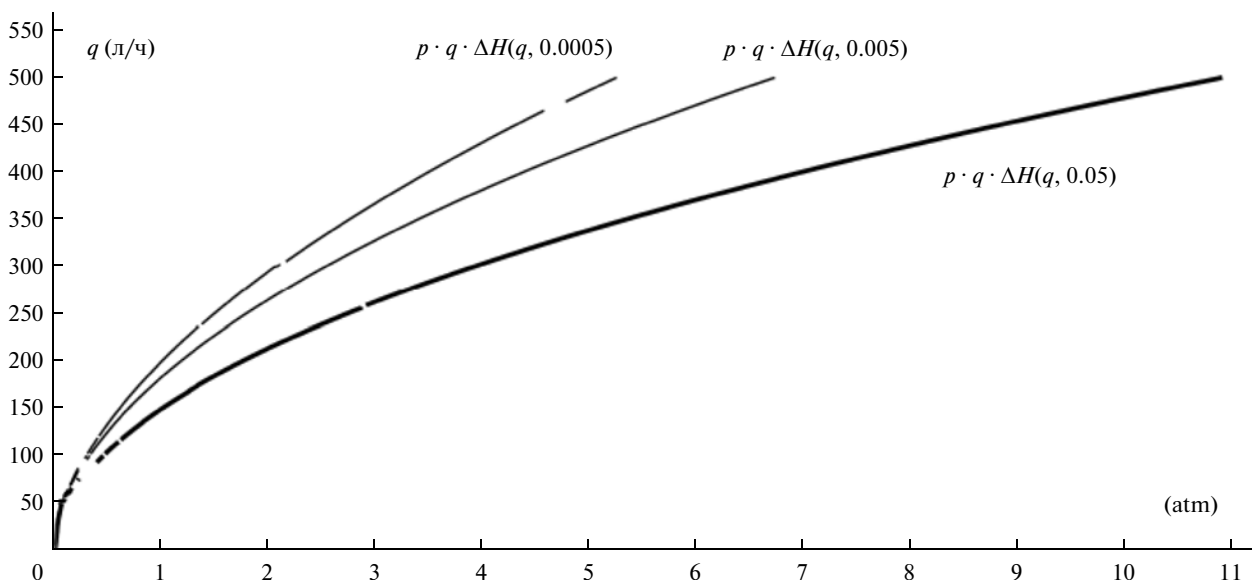


Рис. 6. Расчет гидравлической сети с жидким натрием (окончание).

q – объемный расход жидкости; 0.0005, 0.005, 0.05 – значения шероховатости внутренней поверхности трубы

кальные сопротивления тройников и уголков не учитываются.

Решение задачи сводится к решению системы нелинейных алгебраических уравнений, учитывающих баланс расходов жидкости в тройниках и потерю напора на отдельных замкнутых участках трубопровода (рис. 5). Решением системы уравнений является функциональная зависимость, которую можно отобразить графически (рис. 6).

Три кривые, приведенные на рис. 6, показывают зависимости необходимого перепада давления на насосе от расхода жидкости через него при разных значениях относительной шероховатости внутренней поверхности труб. Разрывами на линиях отмечены участки, где Решатель пакета Mathcad не смог найти решение системы нелинейных алгебраических уравнений.

Таким образом, расчетный сервер с набором “облачных” функций и шаблонов по свойствам ра-

бочих тел, теплоносителей и материалов тепловой и атомной энергетики, созданный в МЭИ–ОИВТ РАН – “Триеру”, позволяет специалистам проводить расчеты, имея в своей расчетной программной оболочке нужные сервисные функции.

Список литературы

1. Зорин В.М. Атомные электростанции. М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. Александров А.А., Орлов К.А., Очков В.Ф. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики: Интернет-справочник. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. <http://twt.mpei.ac.ru/rbtpp>.
3. “Облачный” сервис по свойствам рабочих веществ для теплотехнических расчетов / В.Ф. Очков, К.А. Орлов, М.Л. Френкель, А.В. Очков, В.Е. Знаменский // Теплоэнергетика. 2012. № 7. С. 79–86. <http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/WSPHB/Web-function-Power.pdf>