

## Введение

В настоящее время инженерные и научно-технические расчеты проводятся сугубо на компьютерах. Это, естественно, касается и теплотехнических расчетов.

Созданы и успешно эксплуатируются мощные компьютерные программы для таких задач, в частности для расчетов термодинамических циклов (например, программа Thermoflow — см. [www.thermoflow.com](http://www.thermoflow.com)). Есть специальные программы для расчета систем теплофикации, о которых мы тоже будем говорить в этой книге, например, программа nanoCAD Отопление ([www.nanocad.ru](http://www.nanocad.ru)). 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 одной актуальной причиной заглянуть в "черный ящик" являются 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 связанные с такой некорректностью неустраняемые ошибки. Нужно также помнить, что всякого рода мощные программы для теплотехнических расчетов типа упомянутой ранее программы Thermoflow очень часто нельзя использовать для нестандартной, но актуальной и оперативной задачи, которую мы можем в принципе решить и "ручкой на бумаге", но для ускорения расчетов и исключения из них ошибок проводим 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 на их изучение необходимо много времени и сил, которых не всегда хватает.

С другой стороны, для тех же компьютеров (рабочих станций) созданы универсальные, недорогие (а в ряде случаев даже бесплатные) и простые в освоении программы для инженерных и научно-технических расчетов: MS Excel, Mathcad, MATLAB, Maple, Mathematica, SMath и др. Триаде "универсальность — дешевиз-

на — доступность" лучше всего отвечает пакет Mathcad<sup>1</sup>, одна из версий которого Mathcad Express (<http://www.ptc.com/product/mathcad/free-trial>) передается пользователям бесплатно. Вернее так: пользователь месяц может работать бесплатно на полной версии Mathcad Prime, а потом она укорачивается до Mathcad Express. MS Excel же — это бухгалтерские электронные таблицы, в которых, конечно, можно вести довольно сложные научно-технические расчеты, но в этих расчетах через некоторое время запутается сам автор, не говоря уже о тех, кто захочет эти расчеты изучить и дополнить. В *этиде 4* приведено сравнение решения задачи в среде Mathcad (см. рис. 4.2) и в среде MS Excel (рис. 4.8 и 4.9). Это касается и вышеотмеченных "программ-монстров", в которые при особом желании можно заглянуть (декомпилировать их, просмотреть исходный код), но в которых постороннему человеку разобраться практически невозможно.

Что касается пакета MATLAB, который часто пытаются сравнить с пакетом Mathcad, то MATLAB — по своей сути не математическая программа, а язык программирования, освоить который также непросто. Кроме того, MATLAB хорош не сам по себе, а своими узкоспециализированными приложениями, которые также являются некими "монстрами" с присущими им недостатками, отмеченными выше. Следует также не забывать, что MS Excel и MATLAB в отличие от Mathcad не могут работать с физическими величинами и единицами их измерения, что очень неудобно и чревато ошибками [1].

Можно упомянуть и другие математические программы — Maple и Mathematica, которые в принципе тоже можно использовать для инженерных расчетов. Но Maple и Mathematica — это в первую очередь символьная математика, математика компьютерных аналитических преобразований. А теплотехнические расчеты — это в основном численная математика с некоторыми элементами символьных преобразований.

Неоспоримое преимущество пакета Mathcad и в том, что созданные расчеты можно быстро разместить в Интернете для работы без самого пакета по технологии Mathcad Calculation Server. В книге помещено много таких сетевых интерактивных открытых расчетов.

Итак, Mathcad! Чем же он хорош для теплотехнических расчетов? Во-первых, конечно, тем, что автор — теплоэнергетик по образованию и по сфере приложения сил, хорошо знает этот пакет и даже написал несколько книг по нему [2–15]. Но есть, конечно, и объективные показатели удобства работы с Mathcad. Перечислим их.

**1. Хорошая документированность расчетов.** Расчет, сделанный в среде Mathcad, можно распечатать и отдать на проверку или рецензирование специалисту, который никогда не работал на компьютере. Mathcad-расчет полностью повторяет расчет, сделанный на бумаге, благодаря режиму WYSIWYG (What You See Is What You Get — "что ты видишь (на экране дисплея), то ты и получишь (на бумаге принтера)", см. *этиод 20*). Распечатки решений, полученные в среде

---

<sup>1</sup> Его еще часто называют инженерным калькулятором (суперкалькулятором) или инженерным офисом.

Mathcad, можно оставить в архиве и через 50–100 лет прочитать их, понять, что там написано, и без особых усилий воспроизвести в новых программных средах, которые появятся к тому времени. А это очень важно.

Если говорить о компьютерных информационных технологиях (information technologies, IT), то в этой области в настоящее время наблюдается кризис, который условно называют "кошмаром унаследованного программного обеспечения". Что это такое? Представим себе некую фирму, корпорацию или университет, которые за 30–40 лет интенсивного использования компьютеров разработали и накопили большое количество программ различной степени сложности для расчета и моделирования разнообразных процессов, аппаратов и технологий в тех или иных областях науки и техники, а также для создания и управления базами данных (знаний). На смену морально и физически устаревшим компьютерам приходят новые компьютеры с новой "начинкой" и с современными операционными системами. Компьютеры объединяются в локальные сети, которые, в свою очередь, не остаются в стороне от процесса "глобализации" и интегрируются в Интернет — проводной и беспроводной. Развитие беспроводной связи компьютеров с серверами стало причиной возникновения "облачных" информационных технологий, о которых будет рассказано в книге. Модернизация компьютерного парка часто приводит к тому, что старые прикладные программы перестают запускаться на новых или обновленных компьютерах — рабочих станциях и серверах. Иногда просто невозможно считать программу с носителей (перфокарт, перфолент, дискет различного диаметра, устаревших "флешек" и др.), т. к. новые компьютеры не имеют соответствующих считывающих устройств ("интерфейса"). Приходится либо совсем отказываться от таких программ и создавать "с нуля" новые, либо тратить время и средства на создание или приобретение неких утилит (эмуляторов) для запуска старых программ на новых или обновленных компьютерах.

Но это еще полбеды. Настоящая беда начинается тогда, когда из "фирм, корпораций, университетов" уходят специалисты, которые создавали и поддерживали эти программы, а пришедшая им на смену молодежь не может модернизировать их, адаптировать к новым требованиям. Виной тому и недостаточное документирование кодов, и отсутствие соответствующих инструментальных программных средств, и простая невозможность правильно прочесть программу, написанную на устаревших ("мертвых") языках программирования. Если же все-таки с большим трудом удастся воссоздать или модернизировать старую программу, используя старые или даже новые языки программирования, то "кошмар унаследованного программного обеспечения" через некоторое время всплывет вновь.

Документированность и детализация расчетов очень важны в образовательной сфере. Не секрет, что многие преподаватели высших учебных заведений настроены против использования студентами компьютеров для расчетов по учебным задачам. Эти преподаватели вполне обоснованно считают, что такие задачи нужно решать сугубо "ручками" без использования компьютеров. Но эти преподаватели имеют в виду использование компьютеров как "черных ящиков" (см. *ранее*), в которые "закладывают" исходные данные и из которых "вынима-

ют" готовые ответы. Пакет Mathcad — это отнюдь не тот "черный ящик", который противопоказан студентам.

2. **Работа с единицами измерений.** Мы уже отметили в предисловии этот очень полезный инструмент Mathcad [1]. Добавим лишь то, что MS Excel, MATLAB, а более того языки программирования отучили нас работать с физическими величинами. Вернее, приучили нас работать с безразмерными величинами, а единицы их измерения (единицы СИ — паскалы, кельвины, джоули, ватты и т. д.) держать в уме, что, повторяем, очень неудобно и чревато ошибками в расчетах. Да и сами основные единицы СИ неудобны, особенно в теплотехнике: базовая единица давления (паскаль) очень мала и всегда требует множителей кило или мега, температура в кельвинах плохо "чувствуется" и требует перевода в градусы (шкалу) Цельсия. Единицам измерения полностью посвящен *этиод 2*.
3. **Гибкая система имен переменных.** Переменные и функции в среде Mathcad за редким исключением (*см. этиод 20*) имеют те же имена, которые закрепились за ними в тех или иных научно-технических дисциплинах задолго до появления компьютеров. Например, греческой буквой  $\eta$  с различными индексами в термодинамике обозначают коэффициент полезного действия (термический, внутренний относительный и т. д., *см. рисунки книги*). Это наряду с использованием традиционного написания математических операторов и функций делает "язык" Mathcad доступным всем непосвященным (*см. п. 1*) без особых дополнительных комментариев.

#### **ПРИМЕЧАНИЕ**

Остальные четыре особенности присущи и другим так называемым математическим пакетам (MATLAB, Maple, Mathematica, SMath, Derive и др.), но мы их тем не менее перечислим.

4. **Численная и символьная математика,** позволяющая использовать при решении задач богатую библиотеку численных методов, предваряя или дополняя их попытками (удачными или неудачными) аналитического решения задачи. Примером является *этиод 6*. Mathcad изначально создавался как пакет численной математики, к которому впоследствии (в 5-й версии) было прикреплено ядро символьной математики из пакета Maple, которое затем (в 13-й версии) было заменено на ядро символьной математики из пакета MuPAD. Такая же примерно "биография" и у "численного" пакета MATLAB, где также вначале стоял символьный движок из ядра Maple, который потом был заменен таким же движком из пакета MuPAD. Пакеты же Maple и Mathematica изначально были пакетами символьной математики с элементами численных расчетов. Символьную математику мы используем в *этиоде 6* для аналитического решения системы двух алгебраических уравнений, в *этиоде 7* — для формирования функций пользователя и в *этиоде 17* — для решения задачи о размерах подводной лодки.
5. В Mathcad встроены довольно мощные и гибкие **инструменты создания плоской и объемной графики**, а также анимации (*см. этиод 12*). Это позволяет визуализировать исходные, промежуточные и итоговые данные, что способствует лучшему пониманию сути расчета, выявлению в нем возможных ошибок и ложных путей решения поставленной задачи. Графика помогает готовить расчеты

к публикации, чем мы и воспользовались в данной книге для вычерчивания, например, диаграмм работы термодинамических циклов.

6. **Программирование.** В среде Mathcad математические действия на рабочем листе выполняются как на обычном листе бумаги слева направо и сверху вниз [16]. Но иногда такой порядок счета необходимо изменить — не выполнять, например, какую-то часть операторов, а выполнять какую-то другую или выполнять выделенную группу операторов несколько раз. Такая возможность (программирование) в среде Mathcad предусмотрена, и ею успешно пользуются не только продвинутые пользователи, но даже и те, кто когда-то ошибочно считал, что он никогда не будет программировать. Инструменты программирования Mathcad позволяют решать довольно сложные задачи, не уместяющиеся в узких рамках последовательного алгоритма (слева направо и сверху вниз). На рис. 3.5 в *этюде 3* можно видеть процесс решения задачи методом последовательного приближения в "ручном режиме" (очень популярный у инженеров прием), когда пользователь Mathcad сам делает последнее приближение предыдущим. На рис. 3.1 показано, как эта рутинная работа автоматизирована через программирование (цикл `while`). Мы отметили только первый признак (инструмент) программирования. Два других — это использование локальных переменных и объединение операторов в блоки, которые выполняются как единые операторы [16].
7. В пакете Mathcad предусмотрена **возможность расширения списка доступных функций** тремя путями:

- *путь первый* — прикрепление к Mathcad через механизм DLL (Dynamic Link Library — динамически подключаемая библиотека) функций, написанных, например, на языке программирования C;
- *путь второй* — ссылка из рабочего документа на другие Mathcad-документы. После такой ссылки в рабочем документе станут доступными (видимыми, как говорят программисты) пользовательские переменные и функции, хранящиеся в документе (файле), на который была сделана ссылка. Эти и другие Mathcad-документы можно загрузить на свой компьютер или в локальную сеть и использовать как шаблоны. Но можно это и не делать, если компьютер имеет надежную и высокоскоростную связь с Интернетом;
- *путь третий* — инструменты Mathcad позволяют самому пользователю быстро написать и отладить функции, возвращающие, например, свойства рабочих тел, опираясь на формулы, таблицы или графики, взятые из внешнего источника — из бумажной или электронной книги, а также из Интернета.

Эти три возможности можно и нужно использовать для того, чтобы в расчетном документе стали доступными, например, функции, имеющие в качестве аргументов параметры конкретной точки термодинамического цикла и возвращающие нужные теплофизические свойства рабочего тела в этой точке: удельную энтальпию, удельную энтропию, плотность, удельную теплоемкость (изобарную или изохорную), теплопроводность, вязкость и т. д. Без этого невозможно рассчитывать теплотехнические процессы. С описания этой особенности Mathcad мы и начнем нашу книгу *этюдом 1*.

## Литература

1. Очков В. Ф. Физические и экономические величины в Mathcad и Maple (Серия "Диалог с компьютером"). — М.: Финансы и статистика, 2002. — 192 с.
2. Коробов В. И., Очков В. Ф. Химические расчеты в среде Mathcad. — Днепропетровск: издательство Днепропетровского национального университета, 2012. — 216 с.
3. Очков В. Ф. Mathcad 14 для студентов и инженеров: русская версия. — СПб.: БХВ-Петербург, 2009. — 752 с.
4. Коробов В. И., Очков В. Ф. Химическая кинетика: введение с Mathcad/Maple/MCS. — М.: Горячая линия—Телеком, 2009. — 384 с.
5. Korobov V., Ochkov V. Chemical Kinetics with Mathcad and Maple. — Springer, 2011. — 344 p.
6. Очков В. Ф. Mathcad 14 для студентов, инженеров и конструкторов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2007. — 368 с.
7. Очков В. Ф. Mathcad 12 для студентов и инженеров. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 450 с.
8. Solodov A., Ochkov V. Differential Models. An Introduction with Mathcad. Springer, 2004. — 232 p.
9. Воскобойников Ю. Е., Очков В. Ф. Программирование и решение задач в пакете Mathcad. — Новосибирск: издательство НГАСУ, 2002. — 138 с.
10. Очков В. Ф., Солодов А. П. Mathcad/Дифференциальные модели. — М.: Издательство МЭИ, 2002. — 239 с.
11. Очков В. Ф. Советы пользователям Mathcad. — М.: Издательство МЭИ, 2001. — 196 с.
12. Очков В. Ф. Решение инженерно-технических задач в среде Mathcad // Справочник "Теплоэнергетика и теплотехника". — Кн. 1. — Разд. 5.5.2. — М.: Издательство МЭИ, 1999. — 528 с.
13. Очков В. Ф. Mathcad 8 Pro для студентов и инженеров. — М.: КомпьютерПресс, 1999. — 523 с.
14. Очков В. Ф. Mathcad 7 Pro для студентов и инженеров. — М.: КомпьютерПресс, 1998. — 384 с.
15. Очков В. Ф. Mathcad PLUS 6.0 для студентов и инженеров. — М.: КомпьютерПресс, 1996. — 230 с.
16. Очков В. Ф. Расчетный документ инженерного калькулятора как структурная схема // Вестник МЭИ. — 2010. — № 5. — С. 118–125.
17. Труды В. Ф. Очкова по информационным технологиям в энергетике. URL: <http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/work1.htm>.
18. Труды В. Ф. Очкова по компьютерной тематике. URL: <http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/work2.htm>.