

$t$  – температура ПЭН, °С;  $\rho_{II}$  – удельное поверхностное сопротивление РТП, ом/квдрат;  $J$  – поверхностная плотность тока А/м;  $E$  – напряженность электрического поля, В/м;  $q_F$  – плотность теплового потока РТП ПЭН, Вт/м<sup>2</sup>;  $P$  – периметр проточного ПЭН, м;  $G$  – массовый расход среды, кг/с;  $w$  – скорость движения обрабатываемой среды, м/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\varphi_{II}$  – коэффициент взаимооблучения пластин;  $\rho_0, \rho_c$  – плотность обрабатываемой среды при температуре  $t_0$  и  $t_c$  соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $H$  – высота пластин проточного аппарата, м;  $\beta$  – температурный коэффициент объемного расширения; °С<sup>-1</sup>;  $p_d$  – потери давления на преодоление сопротивлений движению жидкости в проточном ПЭН:

$$p_d = \frac{\xi_{TP} + \xi_M}{2} \rho_c w^2, \quad H / \text{м}^2; \quad \xi_{TP} = 48 \cdot H / (\text{Re}_B \cdot B) - \text{коэффициент}$$

потери напора на трение по длине нагревателя;  $\xi_M$  – коэффициент местных сопротивлений в проточном ПЭН;  $B$  – ширина канала проточного ПЭН, м;  $c_c$  – теплоемкость обрабатываемой среды Дж/(кг·°С);  $x$  – текущая координата нагревателя, м;  $\text{Re}$ ,  $\text{Gr}$ ,  $\text{Pr}$  – критерий Рейнольдса, Грасгофа, Прандтля.

Краевые условия для системы уравнений проточного ПЭН при свободной конвекции (1) – (9) следующие:

При  $x=0$   $t(0, \tau) = t_0$ ;

$$\lambda_{\text{Э}} \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = \alpha_1 \cdot [t_1(0, \tau) - t_0] + \alpha_{C1} \cdot [t_1(0, \tau) - t_0]; \quad (10)$$

$$t_C(0, \tau) = t_0; \quad \rho_C(0, \tau) = \rho_0; \quad (11)$$

$x=H$ ;

$$-\lambda_{\text{Э}} \frac{dt(H, \tau)}{dx} = \alpha_H \cdot [t_H(0, \tau) - t_0] + \alpha_{CH} \cdot [t_H(0, \tau) - t_{CH}]; \quad (12)$$

при  $\tau = 0$

$$t(x, 0) = t_0; \quad t_C(x, 0) = t_0; \quad w(x, 0) = 0; \quad \rho_C(x, 0) = \rho_0. \quad (13)$$

Решение системы интегро-дифференциальных уравнений проводилось методом конечных разностей, при этом аппроксимация исходных уравнений имела неявную конечно-разностную схему.

### Математическая система MATLAB

**Киселев Б. М.**, канд. техн. наук, доцент, **Севернева Е. В.**, **Жалобкевич Н. М.**, БГАТУ, г. Минск

Использование вычислительной техники при решении научно-технических задач идет по многим направлениям: от использования уни-

версальных языков программирования до специализированных программных продуктов для решения наиболее распространенных в той или иной области задач.

В последние годы особый интерес представляет компьютерная математика. Под этим термином понимается “совокупность методов и средств, обеспечивающих максимально комфортную и быструю подготовку алгоритмов и программ для решения математических задач любой сложности ... с высокой степенью визуализации всех этапов решения”. При этом в подавляющем большинстве случаев предусматривается объединение возможностей текстовых редакторов (в формате Word, например) с собственно математическими системами. Это позволяет создавать электронные документы и книги с “живыми” примерами математических расчетов и высокой степенью графической визуализации всех этапов решения задачи.

Программные средства компьютерной математики реализованы в виде компьютерных математических систем. Существует большое число таких систем, среди которых особое место занимает система MATLAB (MATrix LABoratory - матричная лаборатория), как по степени универсальности, так и по сложности (и стоимости).

По обилию функций и скорости вычислений MATLAB превосходит большинство подобных систем, включая Mathcad. MATLAB является бесспорным лидером в области численных расчетов и моделирования различных систем и устройств.

Система MATLAB – это и операционная среда и язык программирования, на котором могут быть написаны программы для многократного использования. На этом языке уже написано множество программ для решения самых разнообразных задач во многих областях науки и техники. Коллекции родственных программ, предназначенных для решения задач (или проблем) из той или иной области науки (или техники), объединяются в специальную папку, которую называют пакетом прикладных программ (ППП). Уже сейчас существует большое число ППП, которое непрерывно пополняется. Непрерывно расширяется и содержание каждого отдельного ППП. Насчитывается около 40 ППП (MATLAB Application Toolboxes). В их числе:

пакет SIMULINK – предназначен для *математического моделирования* динамических систем, представленных своей функциональной блок-схемой;

пакет Power System Blockset – для моделирования электроэнергетических систем и устройств и т.д.

Понятно, что ни один пакет не может охватить все многообразие проблем и задач, поэтому необходимо владение базовыми программными средствами системы MATLAB как для решения конкретных задач, так и для понимания программ, входящих в ППП. Вместе с тем некоторые ППП оказались настолько интегрированными с системой MATLAB, что стали

составной ее частью. Это относится к ППП Notebook (интеграция с текстовым процессором Word) и Simulink (моделирование динамических систем).

Важным достоинством системы MATLAB является ее открытость и расширяемость. Большинство команд и функций данной системы оформлены в виде текстовых файлов (M-файлов) и файлов на языке C (C++). Пользователь может их модифицировать и создавать новые.

Имеется возможность объединения системы с Mathcad и пакетом символьной математики Maple.

Система MATLAB использует командный режим работы. Имеются возможности компилирования, проблемно-ориентированного и даже визуального программирования

В системе MATLAB имеется широкий спектр демонстрационных примеров, которые можно модифицировать и использовать в своих целях. Приводятся некоторые из них.

Итак, MATLAB - универсальная интегрированная система, предлагаемая ее разработчиками как язык программирования высокого уровня для технических вычислений. Язык программирования MATLAB является интерпретатором. Этап компиляции полной программы отсутствует. Для выполнения программ необходимо находиться в среде MATLAB. Однако для программ на языке MATLAB созданы компиляторы, транслирующие программы на языке MATLAB в коды языков программирования C и C++. Это решает задачу создания исполняемых программ, изначально создаваемых в среде MATLAB.

### **Моделирование процесса теплообмена системы «животное - комбинированный электрообогреватель»**

Прищепов М. А., канд. техн. наук, доцент, Винничек В.С., БГАТУ, г. Минск.

В целом система «электронагревательная установка – биологический объект» может быть представлена как взаимосвязанная теплоэнергетическая система, состоящая из отдельных структурных элементов, соединённых между собой и окружающей средой энергетическими потоками как связями.

При различных условиях окружающей среды животные сохраняют постоянную внутреннюю температуру тела  $T_{ж}$ , соответствующую уровню оптимальной биологической активности. Необходимым условием поддержания стационарного теплового состояния организма является непрерывное удаление образующейся в нём теплоты. Чтобы теплота, выработанная организмом, могла быть отдана внешней среде, она должна быть сначала перенесена к поверхности тела. Для обеспечения этого процесса темпера-