

ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ОБЪЕКТЕ АВТОМАТИЗАЦИИ

О.Ч. Ролич, канд. техн. наук, Е.В. Галушко, канд. техн. наук, доцент, М.А. Прищепов, докт. техн. наук, доцент (БГАТУ)

Аннотация

Рассмотрены вопросы моделирования пространственного распределения термодинамических величин в объекте автоматизации на базе имитационной модели путем формирования видеофайла с учетом изменения диаграмм направленностей детерминированных источников и многократных отражений от его границ.

The computer model technology of spatial distribution of thermodynamic parameters in the object of automation on the basis of imitating model is considered. It is formed by a video file taking into account changes of diagrams of orientations of the determined sources and repeated reflections from its borders.

Введение

Моделирование процессов тепло- и массообмена, происходящих в объекте автоматизации, на уровне «серого» и «черного» ящиков, является неотъемлемым этапом решения задач автоматизации. Известные математические методы решения задач динамики объектов автоматизации строятся, как правило, с учетом одного-двух влияющих на тепло и массообмен факторов [1]. Современные технические средства с распределенной архитектурой позволяют в реальном времени управлять множеством разнородных исполнительных устройств, обеспечивая заданные распределения взаимозависимых термодинамических величин в объекте. Поэтому на сегодняшний день актуальна задача моделирования поведения объекта автоматизации, в частности, моделирования динамики изменения формы эквивалентных поверхностей термодинамических величин с учетом воздействия нескольких определяющих факторов.

Основная часть

С учетом современного уровня развития компьютерных систем задачу моделирования пространственно-временной динамики изменения формы поверхности объекта, т.е. формы эквивалентных поверхностей термодинамических величин, целесообразно решать посредством имитационного моделирования. Для этого предлагается технология моделирования поведения объекта с синтезом видеопотока и последующим его анализом.

Технология моделирования, представленная на рис. 1, имеет циклический вид. Ее основными параметрами являются математическая модель процессов тепло и массообмена и трехмерная модель объекта автоматизации. На базе математической модели

строится имитационная модель процессов обмена с учетом граничных условий, заданных трехмерной моделью исследуемого объекта автоматизации [2].

В результате имитационного моделирования, т.е. на выходе видеопроцессора (рис. 1), формируется видео-

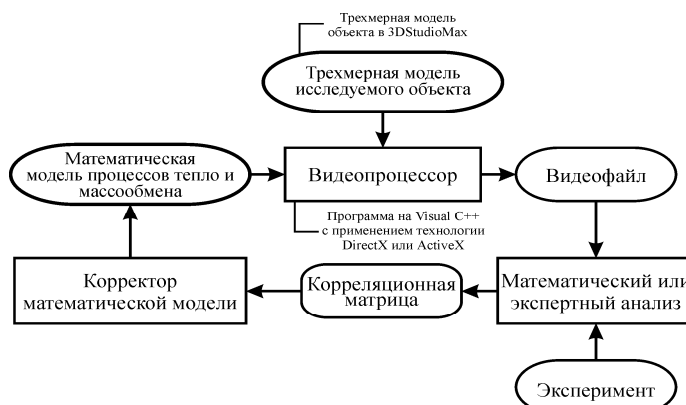


Рисунок 1. Технология моделирования поведения объекта

файл, отражающий изменения эквивалентных поверхностей термодинамических величин во времени. Основное назначение сформированного видеофайла состоит как в математическом обосновании оптимальной архитектуры автоматизированной системы управления, так и в экспертном анализе степени совпадения смоделированных данных с сигналами, полученными в ходе эксперимента. В процессе экспертизы на базе основных параметров сигналов формируется корреляционная матрица, отражающая степень совпадения смоделированной картины с реальными данными, для последующей коррекции математической и имитационной моделей.

В основе математической модели лежит следующая система уравнений для пространственного и

временного распределений суперпозиций детерминированных Fd_i и возмущающих Fs_i воздействий [3]:

$$\nabla X = \sum_i (a_i \cdot Fd_i(\vec{r}, t) + b_i \cdot Fs_i(\vec{r}, t)) \Big|_{\vec{r}}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \sum_i (c_i \cdot Fd_i(\vec{r}, t) + d_i \cdot Fs_i(\vec{r}, t)) \Big|_{\vec{r}}, \quad (2)$$

где X – температура или концентрация частиц; a_i, b_i, c_i, d_i – коэффициенты, характеризующие интенсивность тепло- или массообмена.

В основе видеопроцессора лежит имитационная модель, заключающаяся в построении поверхностей распределения величины $X(\vec{r}, t)$ в дискретный момент времени в дискретном пространстве объекта исследования.

Поверхности распределения строятся на основе решения дифференциальных уравнений (1), (2) в конечных разностях.

Имитационное моделирование удобно вести в соответствии с математическими описаниями диаграмм направленностей детерминированных источников и с учетом отражения термодинамических потоков от стенок объекта автоматизации, определяющих граничные условия модели. Обобщенный алгоритм имитационного моделирования представлен на рис. 2.

В его начальный этап входят: задание размеров трехмерной рабочей матрицы, указание положений детерминированных источников внутри рабочей матрицы, задание функций распределения возмущающих воздействий и математическое описание в сферических координатах диаграмм направленностей детерминированных источников. Аддитивная возмущающая составляющая моделируется нормальным распределением по всему пространству объекта автоматизации.

Расчет и формирование трехмерных матриц распределений коэффициентов тепло и массообмена для всех элементов рабочей матрицы производится в соответствии с суперпозицией этих коэффициентов, полученных для всех детерминированных источников объекта автоматизации. В расчете распределения коэффициентов

$$f_i(r, \varphi, \theta) = \frac{f_{i,0}(\varphi, \theta)}{r^2},$$

обобщенным именем f_i называется произвольный коэффициент тепло- или массообмена в уравнениях (1) и (2). Учитываются расстояние r от источника до текущей координаты; диаграммы направленностей $f_{i,0}(\varphi, \theta)$ для детерминированных источников в сферической системе координат с началом, совмещенным с соответствующим детерминированным источником; отражение от границ –

стенок объекта автоматизации:

$$\hat{p}' = -2(\hat{p} \cdot \hat{n})\hat{n} + \hat{p},$$

где \hat{p} – единичный вектор падения;

\hat{n} – единичный вектор нормали;

\hat{p}' – единичный вектор отражения [4].

Учет формулы отражения предназначен для восстановления диаграмм направленностей вторичных источников, образующихся при отражениях термодинамических потоков от стенок объекта.

Таким образом, для каждого детерминированного источника по всем координатам трехмерной матрицы, описывающей дискретное пространство, интерполяционным способом вычисляются коэффициенты f_i на всех уровнях переотражения от каждой координаты границы объекта, и формируется интегральная матрица пространственного распределения коэффициентов тепло- и массообмена для текущего времени.

Алгоритм непосредственного построения поверхности распределения термодинамических величин в объекте автоматизации на базе сформированных матриц

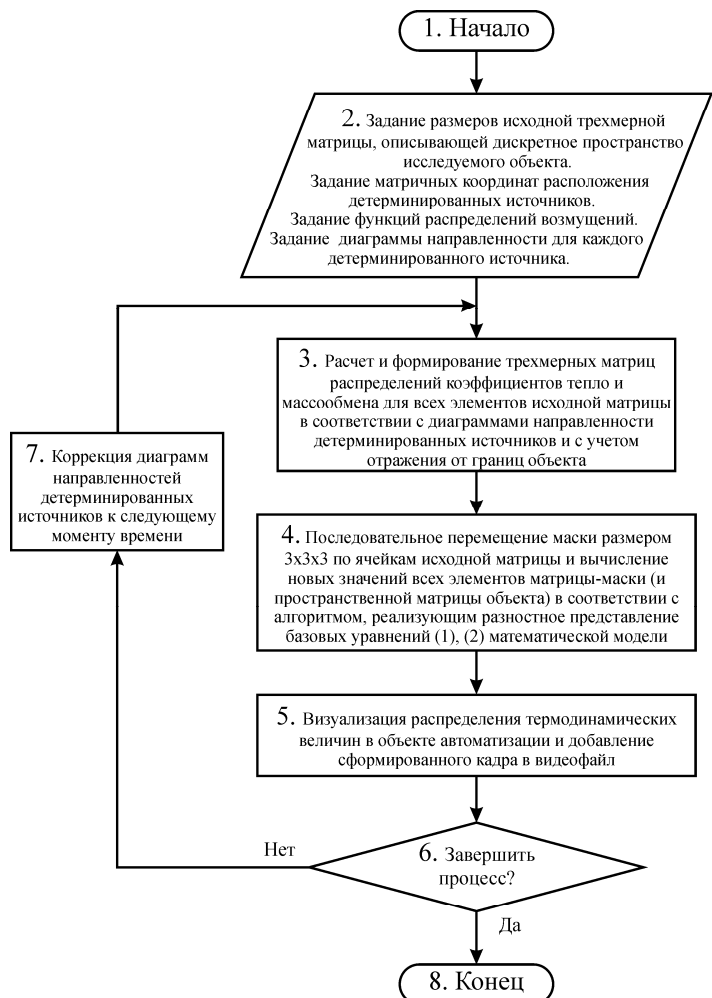


Рисунок 2. Обобщенный алгоритм имитационного моделирования поверхностей распределения термодинамических величин в динамике

пространственного распределения коэффициентов тепло- и массообмена представлен на рис. 3.

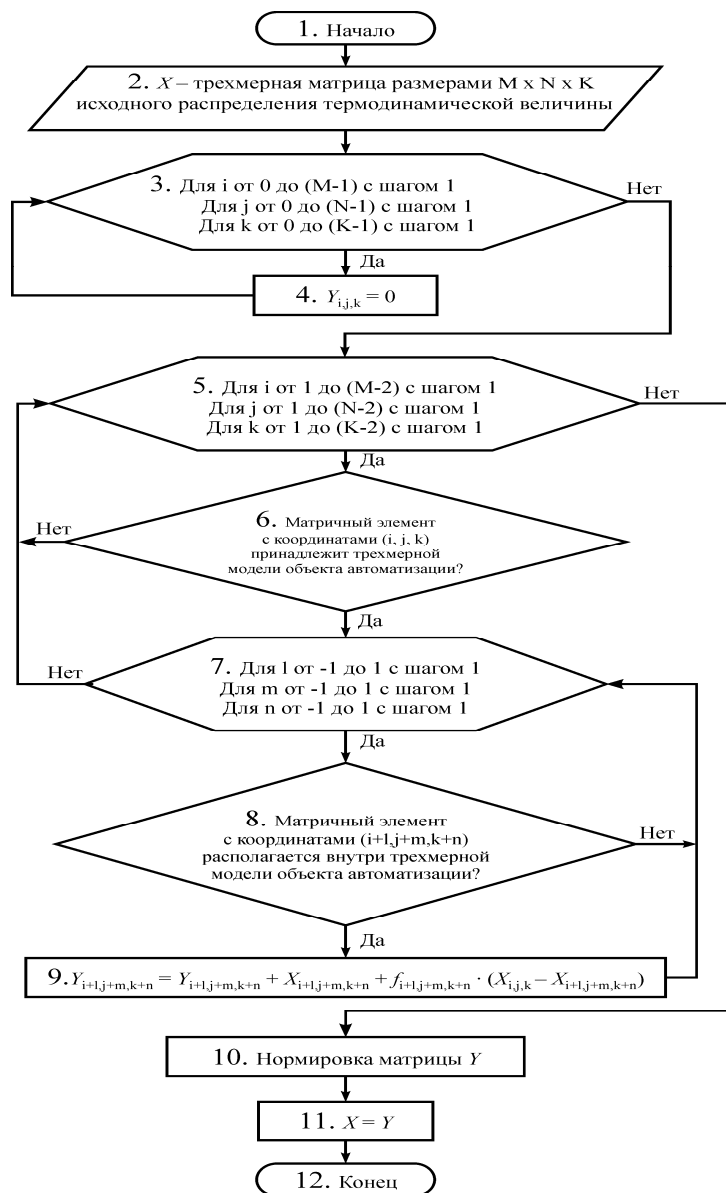


Рисунок 3. Алгоритм непосредственного построения поверхности распределения термодинамических величин в объекте

Алгоритм основан на последовательном перемещении кубической маски размером 3x3x3 элементов по матрице пространственных координат и уточнении пространственного распределения термодинамических величин на каждой итерации. В блоке 11 алгоритма элементы матрицы X , являющейся входной для следующей итерации имитационной модели (рис. 2), принимают значения соответствующих элементов матрицы Y , являющейся выходной (результатирующей) для текущей итерации.

Результатом каждой итерации представленного на рис. 2 обобщенного алгоритма имитационной модели с основными блоками 3, 4, 5 является пространственное распределение термодинамической величины на конкретном временном срезе. Для построения и анализа временной динамики изменения распределения термодинамических величин в блоке 7 алгоритма имитационной модели производится коррекция диаграмм направленностей с целью моделирования поведения объекта для качающихся или вращающихся детерминированных источников с переменной мощностью. То есть, в блоке 7 алгоритма (рис. 2) производится учет изменения детерминированного воздействия во времени.

Пространственно-временная передаточная функция объекта

$$H(\kappa, t) = \frac{\Phi(Y(\vec{r}, t))}{\Phi(X(\vec{r}, t))},$$

где Φ – оператор Фурье-преобразования; κ – пространственная частота, также представляется видеопотоком, т.е. изменением трехмерного образа пространственной передаточной функции во времени.

Заключение

Предложена технология моделирования пространственного распределения термодинамических величин в объекте автоматизации на базе имитационной модели с учетом изменения диаграмм направленностей детерминированных источников, многократных отражений от его границ и формирования видеофайла. Технология позволяет проводить детальный анализ поведения объекта управления в различных режимах работы и может быть использована, например, при разработке автоматизированных систем управления микроклиматом и процессом сушки зерна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хроль, В.Н. Формирование критерия адаптивного управления распределенным теплотехническим объектом / В.Н. Хроль, И.Ф. Кузьмицкий // Труды БГТУ; сер. VI: физико-математические науки и информатика. – 2005. – Вып. XIII. – С. 137 – 139.
2. Маров, М.Н. Энциклопедия 3ds Max 2008 / М.Н. Маров. – СПб.: Питер, 2009. – 1392 с.
3. Анго, А. Математика для электро- и радиоинженеров / Андре Анго. – М.: Наука, 1967. – 780 с.
4. Джексон, Дж. Классическая электродинамика / Дж. Джексон. – М.: Мир, 1965. – 702 с.