

А. И. ГАПОН, канд. техн. наук, проф. НТУ “ХПИ”
О. Н. ЕВСЕЕНКО, магистр НТУ “ХПИ”;

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ТЕПЛООВОГО ОБЪЕКТА НА РС-СЕТКАХ

Производится выбор метода моделирования. Осуществляется построение математической модели теплового объекта на основе метода РС-сеток. Снимаются переходные характеристики объекта. Исследуется реакция объекта на серию ШИМ-импульсов.

Ключевые слова: модель, тепловой объект, метод РС-сеток, масштабные коэффициенты, переходная характеристика, ШИМ.

Введение. Моделирование — важный процесс при изучении объекта, который позволяет упрощенно описать сложную систему, отразив её существенные свойства. Это позволяет использовать модель в качестве заместителя изучаемой системы.

Математическое моделирование основано на идентичности дифференциальных уравнений, описывающих явление в оригинале, и модели, отличающихся по своей природе.

Основные преимущества математического моделирования в сравнении с физическим: при математическом моделировании более наглядно осуществляется индикация и регистрация результатов исследований, можно в широких пределах варьировать исходные данные задачи для выбора оптимальных (по заданному критерию) параметров исследуемой системы, время решения задачи может быть изменено в широких пределах [1].

Реализация управления объектом должна основываться на дискретных системах — в них проще реализовать сложные алгоритмы управления. При использовании ЦВМ алгоритм задается в виде программы, сложность которой практически не влияет на конструкцию системы. Смена программы управления производится без больших затрат времени. В непрерывных САУ повышение сложности алгоритма управления требует включения в состав системы новых элементов, а замена алгоритма связана с существенным усложнением конструкции [2].

Цель работы. Построение математической модели реального теплового объекта и исследование его поведения на РС-сетках на импульсные воздействия, параметры которых вычисляются по методу, предложенному в работе [3].

Анализ литературы. Из многообразия методов математического моделирования [4] был сделан выбор в пользу метода РС-сеток. Суть метода моделирования на РС-сетках заключается в разделении моделируемой

области на элементарные объемы и замене их эквивалентными электрическими схемами замещения, состоящими из резисторов и емкостей.

Схема разбивки области решаемой задачи сеткой может быть самой разнообразной и зависит от многих факторов, определяющим из которых является точность решения. Точность решения при замене сплошной среды сеткой дискретных элементов зависит от шага сетки и величины градиентов температур в данной области.

Преимуществом этого метода является то, что для расчета значений RC-сетки для каждого элемента не требуется дополнительной информации об объекте.

Реализация. Значения RC-элементов получают из экспериментальной кривой разогрева объекта.

В качестве объекта исследований была выбрана стальная труба размерами: длина 35.5 см., диаметр 3.2 см., с намотанным на одном конце нагревателем длиной 8.2 см. от начала трубы и пятью датчиками, равноудаленными друг от друга на 5 см. Данные с датчиков снимались с периодом, равным 5 секундам [5].

При переходе от тепловой схемы замещения к электрической (рис. 1) необходимо учесть, что аналогом изменения температуры ΔT на электрической модели является изменение напряжения ΔU , теплового сопротивления Θ_{ja} – электрическое сопротивление R , теплоёмкости C_{ja} – электроёмкость C , мощности рассеивания P – сила тока внешнего источника $I_{э.т}$ реального времени – время машинное.

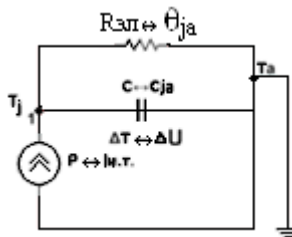


Рис. 1 – Переход от тепловой модели к электрической

При этом уравнение теплопроводности (1) будет выглядеть как уравнение напряжения в точке 1 (рис. 1) для RC-цепи (2), а переходный процесс изменения температуры (3) — как переходный процесс изменения напряжения (4).

$$\frac{\partial T_j}{\partial t} = \frac{-T_j}{\Theta_{ja} \cdot C_{ja}} + \frac{P}{C_{ja}}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{-U}{R \cdot C} + \frac{I_{э.т.}}{C}, \quad (2)$$

$$T_j(t) = T_{j2} - (T_{j2} - T_{j1}) \cdot e^{\frac{-t}{\Theta_{ja} \cdot C_{ja}}}; \quad (3)$$

$$U(t) = U_2 - (U_2 - U_1) \cdot e^{\frac{-t}{R \cdot C}} \quad (4)$$

Сам переход от тепловой схемы замещения модели к электрической осуществляется путем перемножения значений параметров тепловой модели на соответствующие масштабные коэффициенты температуры K_T , теплового потока K_Q , сопротивления K_R , теплоёмкости K_c , времени K_t .

$$K_T = \frac{T}{U}; \quad (5)$$

$$K_Q = \frac{Q}{I}; \quad (6)$$

$$K_t = \frac{t_{\text{теп}}}{t_3} \quad (7)$$

Расчёт электрической модели. Выбор масштабных коэффициентов производится из соображений удобства задания исходных данных и удобства измерения искомой величины.

Так как значения температурной кривой начинаются с 22°C , а не с 0, то формула для масштабных коэффициентов преобразуется в (8).

$$K_T = \frac{T - T_{\min}}{U} \quad (8)$$

$$K_T = \frac{100 - 22}{10} = 7.8;$$

$$K_t = \frac{1}{50} = 0.02;$$

По экспериментальной кривой, полученной в [5] (рис. 2), определим постоянную времени τ по уровню 63.2% от максимального значения температуры по формуле (9), 2τ по уровню 86,5% от T_{\max} по формуле (10) и 3τ по уровню 95% от T_{\max} по формуле (11) для пяти датчиков, результаты сведены в таблицу 1.

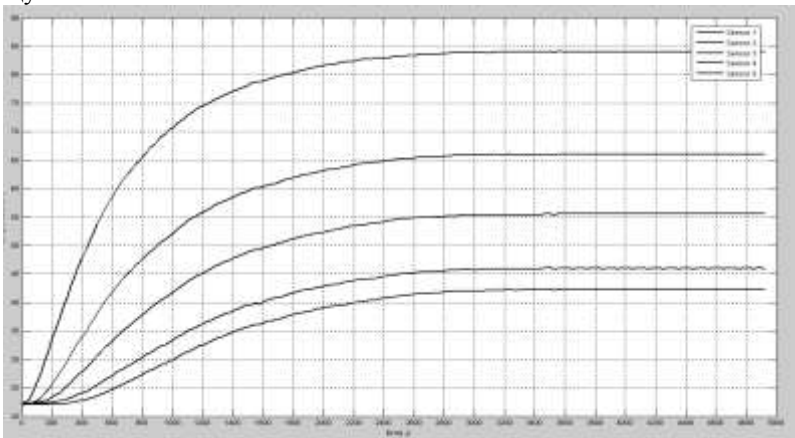


Рис. 2 – Переходные характеристики теплового объекта для пяти датчиков

$$T_1 = (T_{\max} - T_{\min}) \cdot 0.632 + T_{\min} \quad (9)$$

$$T_2 = (T_{\max} - T_{\min}) \cdot 0.865 + T_{\min} \quad (10)$$

$$T_3 = (T_{\max} - T_{\min}) \cdot 0.95 + T_{\min} \quad (11)$$

Таблица 1 – Исходные данные для построения кривых

№ датчика	1	2	3	4	5
t, c	680	880	1170	1200	1400
$2t, c$	1330	1490	1790	1850	2020
$3t, c$	1900	2300	2210	2300	2600

Далее по рассчитанным значениям постоянной времени, из учёта потерь тепла на нагрев окружающей среды произведём выбор значений элементов и построим схему в программном прикладном пакете моделирования электронных схем Multisim v 12.0.

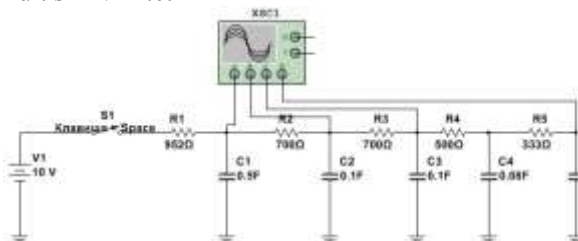


Рис. 3 – Построенная модель теплового объекта на RC–элементах:
 $R1, C1 \dots R5, C5$ — RC–сетка для пяти точек разбиения;
 $S1$ — реле; $V1$ — источник питания

Далее получим переходную характеристику объекта. По определению переходная характеристика – это реакция объекта на единичное ступенчатое воздействие при нулевых начальных условиях [6].

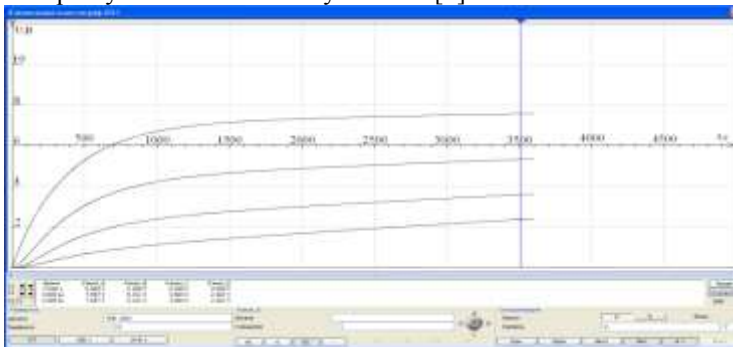


Рис. 4 – Переходные характеристики моделируемого объекта

Смоделируем реакцию объекта на серию ШИМ-импульсов, для которых параметры вычисляются по методу [3], для ближайшего к нагревателю датчика (рис. 5).

Далее сравним результаты с заданной температурной кривой (рис. 6) и найдём погрешность результата.

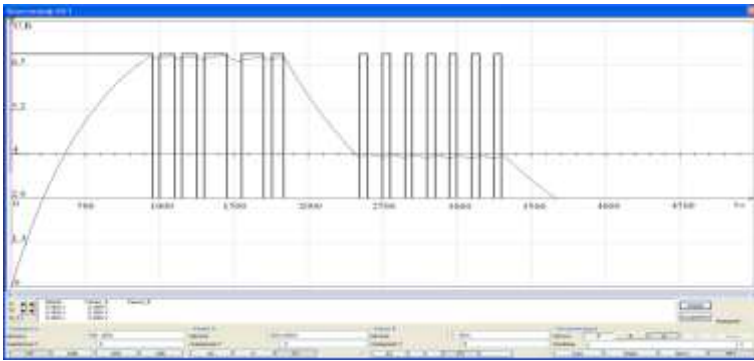


Рис. 5 – Реакция объекта на серию ШИМ-импульсов



Рис. 6 – Сравнение заданной и полученной кривой

Абсолютная погрешность результата определяется по формуле (12), относительная по формуле (13):

$$\Delta T = |T_{np} - T_0| \quad (12)$$

$$\delta_{\text{отн}} = \frac{\Delta T}{T_{np}} \cdot 100\% \quad (13)$$

где θ_{np} — приближённое значение температуры;

θ_0 — точное значение температуры.

Для участка, где заданная температура = 75 °С, абсолютная погрешность и относительная погрешности равняются:

$$\Delta T = |75.8 - 75| = 0.8^\circ\text{C};$$

$$\delta_{\text{отн}} = \frac{0.8}{75.7} \cdot 100\% = 1.05\%$$

Для участка, где заданная температура = 54 °С, абсолютная погрешность и относительная погрешности равняются:

$$\Delta T = |54 - 53.4| = 0.6^\circ\text{C};$$

$$\delta_{\text{отн}} = \frac{0.6}{53.6} \cdot 100\% = 1.12\%$$

Выводы. Из широкого разнообразия методов математического моделирования был сделан выбор в пользу построения аналитической модели на основе метода РС-сеток, для которого значения РС-элементов получают из экспериментальной кривой разогрева объекта.

Построена математическая модель теплового объекта на РС-элементах, снята его переходная характеристика и проверена его реакция на серию импульсов. Была подтверждена возможность отработки алгоритмов управления температурой объекта на его электрической модели.

Погрешность результата математической модели дала аналогичный результат, как и погрешность для реальной тепловой модели.

Список литературы: 1. Цаплин А. И. Моделирование теплофизических процессов и объектов в металлургии : учеб. пособие / А. И. Цаплин, И. Л. Никулин. – Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. – 299 с. 2. Теория автоматического управления : учеб. пособие / Е. А. Санковский [и др.] ; ред. А. С. Шаталов. – М. : Высш. shk., 1977. – 448 с. : ил. 3. Спосіб програмного управління тепловим об'єктом з застосуванням широтно-імпульсної модуляції : патент на корисну модель № 81276 Україна : МПК G05D 23/19 (2006.01) / Савицький С. М., Гапон А. І., Качанов П. О., Євсеєнко О. М., Вискребенцев В. О. ; заявник Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – № u201300059 ; заявл. 02.01.2013 ; опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12. – 4 с. 4. Блинов Ю. Ф. Методы математического моделирования. Ч. 1 [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Блинов Ю. Ф., Иванцов В. В., Серба П. В. ; ТТИ ЮФУ. – Таганрог, 2012. – 42 с. –Режим доступа: <http://fep.tti.sfedu.ru/russian/tmina/education/literatura/mmm1.pdf>. – Загл. с экрана. 5. Савицкий С. М. Экспериментальные исследования способов управления тепловыми объектами / Савицкий С. М., Евсеенко О. Н., Вискребенцев В. О. // Актуальные проблемы автоматизации и приборостроения Украины : материалы науч.-техн. конф., 24–25 дек. 2012 г. / НТУ «ХПИ». — Харьков, 2012. – С. 9–10. 6. Теория автоматического управления. В 2 ч. Ч. 1. Теория линейных систем автоматического управления / [Н. А. Бабаков и др.] ; под ред. А. А. Воронова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. shk., 1986. – 367 с. : **Bibliography (transliterated):** 1. Caplin A. I. Modelirovanie teplofizicheskikh pro-cessov i ob#ektov v metallurgii : ucheb. posobie / A. I. Caplin, I. L. Nikulin. – Perm' : Izd-vo Perm. gos. tehn. un-ta, 2011. – 299 s. 2. Teorija avtoma-ticheskogo upravlenija : ucheb. posobie / E. A. Sankovskij [i dr.] ; red. A. S. Shatalov. – M. : Vyssh. shk., 1977. – 448 s. : 3. Sposib program-nogo upravlinnja teplovim ob'ektom z zastosuvannjam shirotno-impul'snoї mo-duljacii : patent na korisnu model' № 81276 Ukraїna : MPK G05D 23/19 (2006.01) / Savic'kij S. M., Gapon A. I., Kachanov P. O., Evseenko O. M., Viskrebencev V. O. ; zajavnik Nac. tehn. un-t «Hark. politehn. in-t». – № u201300059 ; zajavl. 02.01.2013 ; opubl. 25.06.2013, Bjul. № 12. – 4 s. 4. Blinov Ju. F. Metody matematicheskogo modelirovanija. Ch. 1 [Jel-ektronnyj resurs] : jelektron. ucheb. posobie / Blinov Ju. F., Ivancov V. V., Serba P. V. ; TTI JuFU. – Taganrog, 2012. – 42 s. –Rezhim dostupa: <http://fep.tti.sfedu.ru/russian/tmina/education/literatura/mmm1.pdf>. – Zagl. s jekrana. 5. Savickij S. M. Jeksperimental'nye issledovanija sposobov upravlenija teplovymi ob#ektami / Savic-kij S. M., Evseenko O. N., Vyskrebencev V. O. // Aktual'nye problemy avto-matiki i priborostroenija Ukrainy : materialy nauch.-tehn. konf., 24–25 dek. 2012 g. / NTU «HPI». — Har'kov, 2012. – S. 9–10. 6. Teorija avtomaticheskogo upravlenija. V 2 ch. Ch. 1. Teorija linejnyh sistem avtomaticheskogo upravlenija / [N. A. Babakov i dr.] ; pod red. A. A. Voronova. – 2-e izd., pere-rab. i dop. – M. : Vyssh. shk., 1986. – 367 s.

Поступила (received) 10.11.2013

І.В. ГРИГОРЕНКО, к.т.н., доцент НТУ «ХПІ»

А.С. БЕЛЄВЦОВА, магістр НТУ «ХПІ»

ПОБУДОВА ТЕСТОВИХ ВПЛИВІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИЧНОГО ПРИБАДУ ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ

У статті запропоновано варіант побудова тестових впливів для діагностичного приладу лазерних систем контролю. Висвітлені аналітичні залежності, які визначають процеси зміни вхідного сигналу у динамічному режимі.

Ключові слова: системи лазерного контролю, корекція похибки системи лазерного контролю, тестові методи контролю лазерних систем, алгоритм підвищення точності системи.

Вступ. Задача контролю лазерних систем виникла разом зі самими системами. На цей час існують багато систем лазерного контролю як технологічних процесів, так і окремих об'єктів, які дають можливість вирішувати конкретні задачі, але не відповідають на запитання: наскільки достовірні данні цього контролю?

Аналіз основних досягнень і літератури. В роботі [1] розглянуто пристрій для контролю лазерних приладів, оптичний блок якого виконаний у вигляді призми й двох клинів, розташованих перед об'єктивом, проте даний винахід механічно ускладнений і вимагає великих матеріальних затрат. В роботі [2] пристрій для контролю лазерних технологічних процесів містить відеокамеру з об'єктивом і фотодіод, оптично зв'язані з системою лазера, що сканує і фокусує, але він має невисоку точність вимірювання та низьку швидкодію. Запропонований у роботі прилад має значні переваги по точності контролю у порівнянні з попередніми, що дозволяє значно підвищити точність вимірювання геометричних розмірів та якості поверхні виробів завдяки використанню тестових зразкових ділянок. Питання тестування систем за допомогою подання адитивних і мультиплікативних тестів з подальшим обчисленням реляційно-різницевих операторів корекції розглядалося в роботі [3].

Мета дослідження, постановка задачі. Метою роботи є розробка методу тестового контролю для існуючого лазерного діагностичного приладу, який надасть можливість практично реалізувати теорію реляційно-різницевих операторів корекції для підвищення точності контролю лазерних систем.

Матеріали досліджень. В роботі [4] вперше запропоновано метод підвищення точності вимірювальних перетворювачів (ВП) на основі динамічних реляційно-різницевих операторів корекції, що дозволило значно знизити похибку нелінійності та динамічну складову похибки, за рахунок