

УДК 621.311.22:681.5 (075.8)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА

Соловьёва С.В., студентка; Маркин А.Д., профессор; Илющенко В.И., доц.
(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Разработка и создание миниатюрных датчиков теплового потока привело к появлению приборов такого типа не только в системах контроля, но и в системах управления ТТП. Можно назвать достаточно много организаций, создавших образцы датчиков тепловых потоков (ДТП) для лабораторных исследований с самыми различными характеристиками по точности, инерционности, условиям эксплуатации, используемой вторичной аппаратурой, диапазону измерений и т.д. Разработанные теплотетрические средства прошли не только стадию теплотетрических испытаний, но и длительную промышленную эксплуатацию. Наиболее технологичными (в смысле изготовления, обслуживания, эксплуатации в промышленных условиях) можно считать ДТП с чувствительными элементами градиентного типа [1]. Однако, при контроле за высокоинтенсивными процессами с помощью ДТП этого типа или при использовании их в качестве чувствительного элемента автоматизированной системы управления тепловыми процессами (АСУТП) возникает проблема улучшения их динамических характеристик. В настоящее время наметилось два основных направления в решении этой проблемы:

-конструктивная доводка и миниатюризация ДТП при использовании достижений современной технологии;

-применение вторичной электронной (аналоговой, цифровой или гибридной) аппаратуры для обработки электрического сигнала чувствительного элемента.

Однако, существующие термочувствительные и высокотемпературные материалы не дают возможности создать чувствительный элемент для измерения тепловых потоков во всем интересующем диапазоне. Поэтому схема прямого измерения чувствительным элементом тепловых нагрузок практически не реализуема. Единственно возможной схемой измерения является комбинированная схема, при которой кроме высокотемпературных материалов, защищающих термочувствительный элемент, функции защиты выполняют некоторые конструктивные элементы исследуемого объекта (например, теплозащитное покрытие). В этом случае чувствительный элемент, находящийся в зоне допустимых температур, сохраняет функциональную способность даже при поверхностном разрушении теплозащитного покрытия.

Анализ возможностей улучшения динамических характеристик измерительной системы, связанный с использованием вторичных приборов, показывает, что ДТП, имеющие постоянную времени в десятки секунд, при использовании в измерительной цепи с соответствующими корректирующими элементами, успешно могут применяться как для контроля, так и для

управления тепловыми процессами. В этом отношении показательны работы по улучшению динамических характеристик измерителей температуры, в т.ч. работы по разработке методов формальной (электрической) коррекции динамических характеристик измерителей температуры [2]. Метод формальной коррекции базируется на тщательном экспериментальном исследовании передаточной функции термопреобразователя и построении корректирующей цепочки, улучшающей динамические характеристики системы в целом. Сущность электрической коррекции заключается в том, что в измерительную схему термопреобразователя включается звено, искусственно улучшающее его динамические свойства. Целью коррекции является замена термопреобразователя системой термопреобразователь – корректирующее звено, эквивалентной термопреобразователю, но с меньшей постоянной времени.

Например, задача искусственного уменьшения постоянной времени простейшего термопреобразователя может быть решена путем включения последовательно с ним корректирующего устройства с передаточной функцией вида:

$$W_K(P) = \frac{T_K P + 1}{\frac{T_K}{K} P + 1}$$

где T_K - постоянная времени корректирующего звена;

K - коэффициент, показывающий во сколько раз уменьшается постоянная времени термопреобразователя (коэффициент коррекции).

При этом если передаточная функция термопреобразователя описывается уравнением звена первого порядка, передаточная функция системы термопреобразователь – корректирующее звено будет иметь вид:

$$W_C(P) = W_K(P) \cdot W_g(P) = \frac{T_K P + 1}{(T_g P + 1) \cdot \left(\frac{T_K}{K} P + 1\right)}$$

где T_g - постоянная времени термопреобразователя.

Если поддерживать постоянную времени корректирующего устройства равной постоянной времени датчика ($T_K = T_g$), то

$$W_C(P) = \frac{1}{\frac{T_g}{K} P + 1}$$

Из данной формулы видно, что передаточная функция системы имеет вид, аналогичный передаточной функции датчика, с той лишь разницей, что постоянная времени его уменьшилась в K раз.

Методы электрической коррекции динамических характеристик различных систем, широко применяемые в настоящее время в системах автоматического управления (САУ), встречают ряд трудностей при использовании их для целей компенсации динамических погрешностей термопреобразователей. В работе [3] сделана попытка применения идей метода формальной коррекции к улучшению характеристик ДТП. Однако, аналогичная задача, обусловленная одним рассматриваемым физическим процессом – процессом распространения тепла в неподвижных средах – не привела к удовлетворительным результатам из-за принципиальной разницы измеряемых параметров: температуры и теплового потока. Тем не менее, в настоящее время определились следующие пути решения этой проблемы:

1. Применение формальной (электрической) коррекции динамических характеристик приемников тепловых потоков. Этот метод аналогичен формальной коррекции динамических характеристик термопреобразователей, дающей удовлетворительные результаты при заранее известной форме измеряемого теплового нагружения.

2. Использование нестационарной математической модели чувствительного элемента датчика для идентификации тепловых нагрузок с применением АВМ или ЭЦВМ. Этот метод дает хорошие результаты при обработке данных теплового эксперимента и не требует предварительной информации о форме теплового нагружения.

3. Наиболее перспективным представляется подход с использованием идей системно-структурного анализа, позволяющий наиболее полно проанализировать динамические характеристики измерительной системы в целом на базе ее математической модели. Практическая реализация метода допускает аналоговую, цифровую или гибридную элементную базу корректирующей системы. Очевидным достоинством этого метода является возможность прямого применения для управления в реальном времени, т.е. практически без временной задержки на реализацию управляющего алгоритма.

Одной из наиболее сложных задач, решаемых в настоящее время, является задача синтеза и разработки систем управления нестационарными тепловыми процессами. Принципиально необходимо использование в такого рода системах с обратной связью в качестве чувствительного элемента какого-либо индикатора тепловых потоков или температуры.

Наиболее широко в настоящее время распространено управление с индикацией по температуре исследуемого объекта. Однако целый ряд практически важных задач требует построения систем управления с индикацией тепловых нагрузок на исследуемый объект. При этом возникают дополнительные трудности, связанные как с идентификацией тепловых нагрузок на приемник тепловых потоков, так и с необходимостью анализа всего контура системы управления с чувствительным элементом этого типа. Условная схема идентификации тепловых нагрузок с использованием различных средств обработки электрического сигнала датчика представлена на рисунке 1.

Можно отметить, что ДТП выдает информацию о действующей тепловой нагрузке в виде некоторых электрических сигналов, которые являются

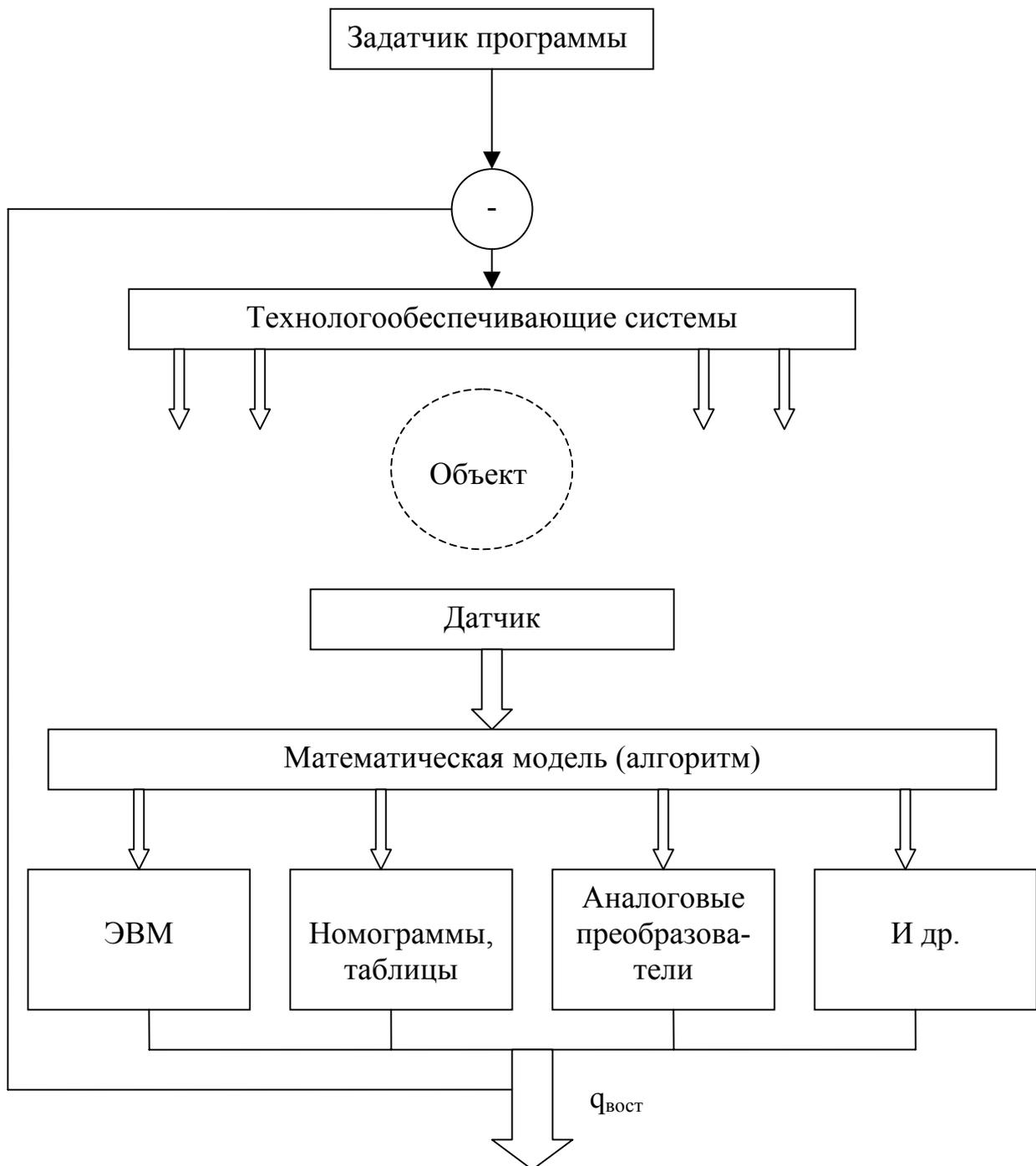


Рисунок 1 – Схема восстановления тепловых нагрузок на объект при управлении технологическим процессом с помощью датчика тепловых потоков.

исходными для решения задачи идентификации восстановленной тепловой нагрузки. Величина восстановленной тепловой нагрузки определяет управляющее воздействие на системы, обеспечивающие технологический процесс.

В настоящее время реализация задач такого класса требует довольно значительных затрат машинного времени. В связи с этим актуальной проблемой является разработка простых, достаточно точных, алгоритмов идентификации с определенными границами их применимости, позволяющих

качественный анализ и синтез средств тепловой диагностики с заданными динамическими характеристиками.

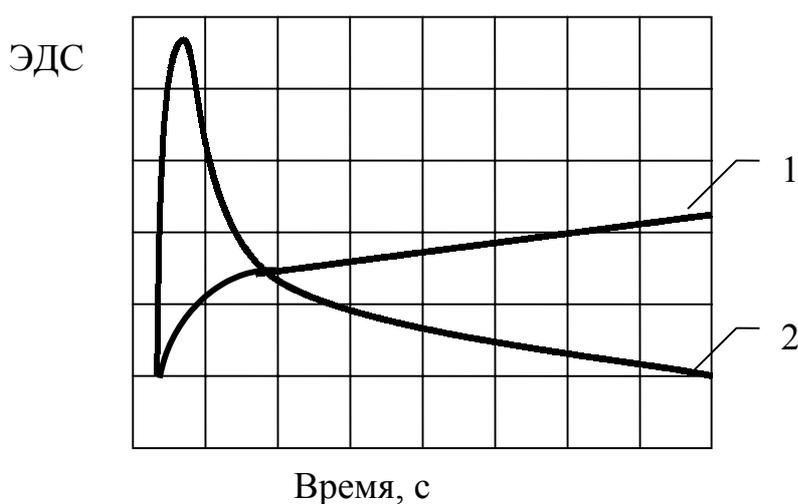
Наиболее распространены в настоящее время датчики градиентного типа. Выходной сигнал такого типа датчиков можно определить градиентом температуры, возникающем в его чувствительном элементе, т.е. весь анализ можно построить на базе уравнения теплопроводности.

Анализ существующих методов исследования динамических характеристик термопреобразователей и построения передаточных функций корректирующих устройств позволил определить новое направление в решении этих вопросов. Это направление связано с нахождением нового решения уравнения теплопроводности, наиболее удобного для анализа динамических характеристик различных термопреобразователей. Наиболее подробно один из вариантов этого направления рассмотрен в работе [4].

Датчик теплового потока позволил экспериментально получить переходные характеристики отдельных элементов системы датчик – корректирующий блок в целом при ступенчатом тепловом нагружении.

Целью испытаний являлась проверка функциональной способности макета корректирующего блока. Характерные результаты испытаний представлены на рисунке 2 и рисунке 3 (снимки сделаны с экрана осциллографа). На рисунке 2 хорошо видна собственно переходная характеристика приемника (испытания проводились в нормальных условиях) и переходная характеристика корректирующего блока.

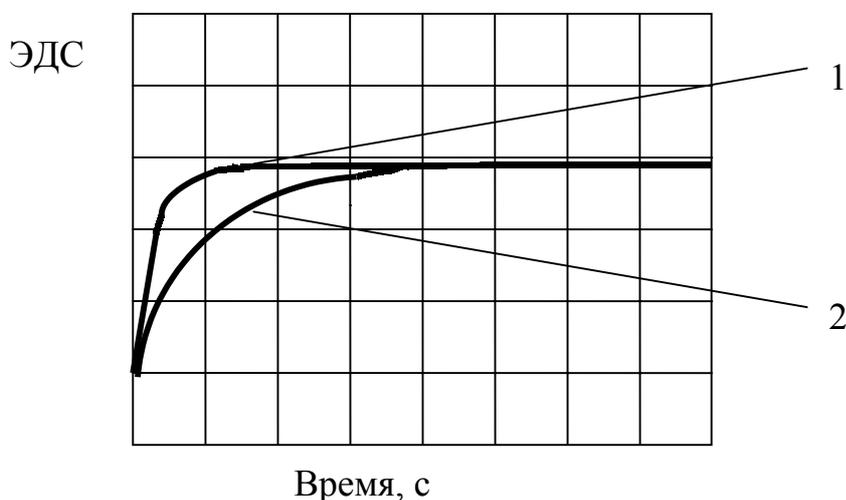
На рисунке 3 представлены переходные характеристики приемника и системы приемник – корректирующий блок. Для иллюстрации влияния величины коэффициентов передаточной функции на форму переходной характеристики на рисунке 3 показано кривые, соответствующие правильно выбранным коэффициентам.



1 – система БДК + термопреобразователь, 2 – термопреобразователь.

Рисунок 2 – переходные характеристики корректирующего блока и термопреобразователя

На основании многочисленных экспериментов можно сделать вывод: применение принципов математической коррекции позволяет существенно уменьшить время переходного процесса (на представленной осциллограмме время переходного процесса системы датчик – корректирующий блок не превышало 1 секунды).



1 – БДК + термопреобразователь, 2 – термопреобразователь.

Рисунок 3 – Переходные характеристики.

По результатам испытаний проведенных в Белградском университете можно сделать заключение, что время переходного процесса (время установления показаний) исследуемой системы было в 8-10 раз меньше времени переходного процесса одного ДТП [5].

Перечень ссылок

1. Геращенко О.А. Основы теплотрии. – Киев.: Наукова думка, 1979.- 172с.
2. Шукшунов В.Е., Фандеев Е.И. Определение коэффициентов передаточных функций термоприемников. - Изв.вузов, электромеханика, 1965, №3, с.37-41.
3. Банников А.И., Заволович А.Л. Метод и устройство коррекции тепломеров. – Радиационный теплообмен: Докл. IV Всесоюзной конференции по радиационному теплообмену, Киев, Наукова думка, 1978. – с.132-133.
4. Разработка методов математической коррекции электрических сигналов преобразователей теплового потока: Отчет/ДПИ; Маркин АД.; х/т 77-166; № ГР 77034296. – Донецк, 1980. – 98 с.
5. Markin A., Voronek D. za dr. Primena toplotnog fluksmetra za nestacionarna merenja. – Klimatizacija, grejanje., Belgrad, 1982, №2, s.35-37.