

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

С.В. Панферов, В.И. Панферов

Разработан адаптивный алгоритм идентификации гидравлических сопротивлений элементов теплотранспортных систем. Приведены результаты апробации алгоритма идентификации. Показано, что алгоритм обладает заметными фильтрующими свойствами и может быть использован в составе алгоритмического обеспечения систем управления процессом теплоснабжения.

Ключевые слова: алгоритм идентификации, гидравлическое сопротивление, алгоритмическое обеспечение, система управления, процесс теплоснабжения.

Современные системы теплоснабжения представляют собой сложный комплекс установок и устройств, работа которых характеризуется взаимосвязанностью режимов. Нарушение нормального режима работы в одном из звеньев неизбежно отражается на работе остальных частей системы. Положение осложняется также и тем, что тепловые сети обычно отличаются большой протяженностью и разветвленностью трубопроводных схем: радиусы теплоснабжения достигают 15–20 км, а едиными системами теплоснабжения охватываются крупные промышленные центры и жилые массивы. Нагрузка систем теплоснабжения изменяется как в течение суток и по дням недели, так и в зависимости от температуры наружного воздуха. В указанных условиях надежная и экономичная работа систем теплоснабжения возможна только при применении современных систем автоматизированного управления. К сожалению, применяемые в настоящее время системы управления процессами теплоснабжения достаточно не совершенны, поэтому необходимы разработка и внедрение наиболее эффективных систем с обратной связью по параметрам теплового и гидравлического режимов. Вместе с тем, решение этой крупной проблемы сдерживается, в основном, из-за отсутствия надежного алгоритмического обеспечения таких систем. Причем такая ситуация характерна в общем-то как для промышленных технологических объектов [1, 2], так и для процессов теплоснабжения, в частности [3]. Известные в литературе модели и алгоритмы содержат в своей структуре ряд серьезных упрощений и допущений, вследствие этого они недостаточно точны и имеют ограниченную область применения. Обычно это аналитические соотношения, полученные еще в 60–70-е годы прошлого века. При этом, как правило, сами процедуры выбора структуры моделей и алгоритмов, используемых для контроля и управления в

тепле с технологическими процессами [1, 2], в том числе и с процессом теплоснабжения [3], и особенно их параметрической настройки являются, к большому сожалению, секретом фирм-разработчиков автоматизированных систем управления (АСУ). Такие задачи решаются в большинстве случаев на основе опыта и интуиции, методы решения этих задач в значительной мере относятся к области инженерного искусства, а не к области инженерных знаний. В связи с этим в Южно-Уральском государственном университете (ЮУрГУ) ведется разработка основ структурного синтеза и настройки моделей и алгоритмов применительно к современным системам управления процессами теплоснабжения [3]. Приведенные в [3] конкретные модели и алгоритмы их параметрической настройки прошли модельные испытания и рекомендуются для использования в автоматизированных системах управления теплоснабжением. В данной работе в развитие предыдущих исследований рассмотрена следующая задача.

Известно, что гидравлическое сопротивление участков гидравлической цепи зависит от шероховатости внутренней поверхности трубопроводов и коэффициентов местных сопротивлений установленной арматуры, имеющих поворотов и т. п. Вместе с тем, также хорошо известно, что эти величины изменяются в процессе эксплуатации достаточно непредсказуемым образом. Поэтому и возникает задача оценки гидравлического сопротивления участков на основе экспериментальных автоматически контролируемых данных.

В работе [4], как нам представляется, реальные сопротивления элементов определялись по экспериментальным расходам и давлениям в ряде точек тепловой сети методом простого подбора. Однако более предпочтительным является формализованный алгоритм оценки любого, в том числе и данного параметра. В данной работе предлагает-

ся адаптивный алгоритм оценки (идентификации). Заметим, что под адаптивным алгоритмом идентификации понимается такой алгоритм, который позволяет уточнять значения настраиваемых параметров по мере получения новой информации с объекта [5].

Задача адаптивной оценки в данном случае формулируется следующим образом. Пусть известна оценка сопротивления в $(i-1)$ -й момент времени – S_{i-1} , пусть, кроме того, для i -го момента времени получена новая информация с объекта $(\Delta P_i, G_i)$. Ставится вопрос: как, зная оценку сопротивления для $(i-1)$ -го момента времени, по новой информации с объекта найти новую улучшенную оценку этого же сопротивления – S_i ? Формально задача адаптивной оценки записывается следующим образом:

$$\gamma_1 \left(\frac{\Delta P_i}{G_i^2} - S_i \right)^2 + \gamma_2 (S_i - S_{i-1})^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где ΔP_i и G_i – падение давления на участке в i -й момент (отсчет) при расходе, равном G_i , S_i и S_{i-1} – оценки сопротивления в i -й и $(i-1)$ -й моменты, γ_1 и γ_2 – весовые коэффициенты. Составляющая $\gamma_2(S_i - S_{i-1})$ задает монотонность (близость) соседних оценок. Следует заметить, что в данном случае предполагается, что гидравлическая система работает в так называемом квадратичном режиме, т. е. когда связь между падением давления ΔP и расходом G такова $\Delta P = S \cdot G^2$. Данное соотношение представляет собой не что иное, как математическую модель рассматриваемого процесса.

Решая данную задачу оптимизации, нашли, что оптимальная оценка параметра должна определяться по следующей формуле:

$$S_i = \frac{\gamma_1 \Delta P_i / G_i^2 + \gamma_2 S_{i-1}}{\gamma_1 + \gamma_2}. \quad (2)$$

При этом заметим, что вторая производная от критерия (1), вычисленная в точке (2), равна $2\gamma_1 + 2\gamma_2 > 0$, что свидетельствует о достижении абсолютного минимума критерия (1) в точке (2).

Удобно соотношение (2) записать в следующем виде:

$$S_i = S_{i-1} + \frac{\gamma_1}{\gamma_1 + \gamma_2} \left(\frac{\Delta P_i}{G_i^2} - S_{i-1} \right). \quad (3)$$

Данный алгоритм позволяет отслеживать изменение гидравлического сопротивления участка в процессе эксплуатации. Как видно из последнего

уравнения, если сопротивление не изменилось за промежуток времени между $(i-1)$ -м и i -м моментами, то оценки S_{i-1} и S_i будут совпадать.

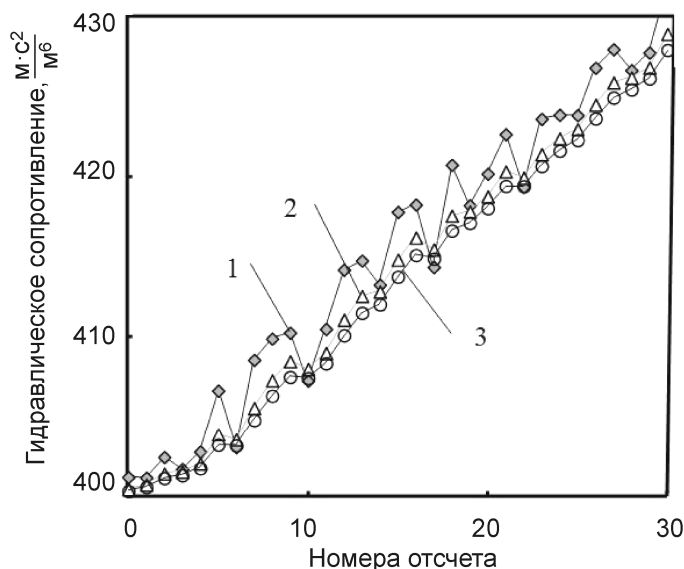
В условиях действия случайных помех, как известно [5], численные значения весовых коэффициентов γ_1 и γ_2 следует выбирать так, чтобы $\gamma_1 < \gamma_2$, так как при наличии помех невязка $\left(\frac{\Delta P_i}{G_i^2} - S_i \right)$ обуславливается не столько неточно-

стью модели, как помехами, накладывающимися на результаты измерения. Таким образом, нужно достаточно осторожно относиться к новой информации $(\Delta P_i, G_i)$, больший вес следует придавать прежней информации S_{i-1} , конкретные значения γ_1 и γ_2 естественно должны учитывать реальную статистическую ситуацию на объекте. Опыт применения данного алгоритма показал его пригодность для оперативного отслеживания изменения гидравлического сопротивления участков трубопроводных систем. Установлено, что даже заметно грубые ошибки в определении численного значения сопротивления (например, имеющие место в начальный момент, т. е. при запуске алгоритма) достаточно быстро исправляются алгоритмом. Для примера на рисунке приведены кривые, иллюстрирующие работу алгоритма: кривая 1 – это найденные по результатам измерений значения отношения $\frac{\Delta P_i}{G_i^2}$, кривая 2 и 3 – оценки, найденные по

формуле (3) соответственно для $\gamma_1 = 0,5$; $\gamma_2 = 0,5$ и для $\gamma_1 = 0,3$; $\gamma_2 = 0,7$. Кривую 1 можно рассматривать как оценку сопротивления, найденную по алгоритму (3) для $\gamma_2 = 0$

Как видно из рисунка, алгоритм обладает заметными фильтрующими свойствами, по временному признаку его следует отнести к алгоритму запаздывающего оценивания [6], что вполне объяснимо, поскольку алгоритм по характеристикам близок к инерционному звену первого порядка (экспоненциальному сглаживанию первого порядка) [6, 7]. В самом деле, работу алгоритма можно представить следующим образом. Пусть экспериментальная информация $\frac{\Delta P(\tau)}{G^2(\tau)}$ подается на вход

инерционного звена 1-го порядка, а выходной величиной такого звена является текущая оценка сопротивления участка $S(\tau)$ [7]. Тогда [7] дифференциальное уравнение, связывающее входную и выходную величины, будет иметь вид



Изменение оценок гидравлического сопротивления в зависимости от номера отсчета показаний

$$T \frac{dS(\tau)}{d\tau} + S(\tau) = \frac{\Delta P(\tau)}{G^2(\tau)}, \quad (4)$$

где τ – текущее время, T – постоянная времени звена. Известно, что конечно-разностная аппроксимация данного уравнения может быть записана следующим образом:

$$T \frac{S_i - S_{i-1}}{\Delta\tau} + S_i = \frac{\Delta P_i}{G_i^2}, \quad (5)$$

где $\Delta\tau$ – шаг по времени, индекс i указывает, что величина определяется для момента времени $\tau = i\Delta\tau$. Далее, уравнение (5) нетрудно переписать в виде, аналогичном уравнению (3)

$$S_i = S_{i-1} + \frac{\Delta\tau}{T + \Delta\tau} \left(\frac{\Delta P_i}{G_i^2} - S_{i-1} \right). \quad (6)$$

Сопоставляя уравнения (3) и (6), можно заключить, что параметр γ_1 можно интерпретировать как интервал дискретности $\Delta\tau$, а параметр γ_2 как постоянную времени звена T . Поэтому становится предельно понятным, что уменьшение γ_1 и увеличение γ_2 (постоянной времени T) приводит к усилению фильтрующих свойств алгоритма. Отклонение получаемых оценок гидравлического сопротивления от его истинного значения заметно уменьшается. В наших расчетах это отклонение всегда удавалось за счет настроек алгоритма фильтрации (за счет выбора γ_1 или γ_2) довести до допустимого значения. Таким образом, использование алгоритма (3) позволяет получить вполне работоспособную процедуру оценивания гидравлического сопротивления участка.

Выводы. Разработан и апробирован алгоритм идентификации гидравлического сопротивления элементов теплоэнергетических систем. Точность оценки гидравлического сопротивления определяется как точностью исходной информации, получаемой с помощью измерительных систем, так и настройкой фильтрующих свойств алгоритма, что является вполне решаемой задачей. Алгоритм может быть использован в составе подсистемы расчетно-инструментального контроля АСУ гидравлическими режимами тепловых сетей. Целесообразность его применения несомненна и определяется теми преимуществами, которые имеет формализованный алгоритм оценки перед эвристической процедурой подбора оцениваемого параметра.

Литература

1. Панферов, В.И. Алгоритмическое обеспечение АСУ ТП методических печей / В.И. Панферов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2001. – № 2. – С. 59–62.
2. Панферов, В.И. Методы контроля температуры металла в АСУ ТП методических печей / В.И. Панферов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2002. – № 10. – С. 57–61.
3. Панферов, В.И. Идентификация тепловых режимов трубопроводных систем / В.И. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2005. – Вып. 3. – № 13 (53). – С. 85–90.
4. Панамарев, Ю.С. Расчет гидравлических и температурных режимов работы теплотрассы Самарской ТЭЦ с помощью компьютерной модели /

Инженерное оборудование зданий и сооружений

Ю.С. Панамарев, В.А. Кудинов, Ю.П. Чиликин, В.В. Котов // Теплоэнергетика. – 2005. – № 5. – С. 35–39.

5. Растрин, Л.А. Современные принципы управления сложными объектами / Л.А. Растрин. – М.: Сов. радио, 1980. – 232 с.

6. Авдеев, В.П. Фильтрация сигналов при

наличии их частичных моделей / В.П. Авдеев, А.А. Еришов, Л.П. Мышляев // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1982. – № 4. – С. 121–126.

7. Теория автоматического управления. В 2 ч. Ч. 1: Теория линейных систем автоматического управления / под ред. А.А. Воронова. – М.: Высш. шк., 1977. – 304 с.

Панферов Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Южно-Уральский государственный университет. Тел.: (351) 2679144.

Панферов Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция», Южно-Уральский государственный университет. Тел.: (351) 2679688.

*Bulletin of the South Ural State University
Series “Construction Engineering and Architecture”
2013, vol. 13, no. 1, pp. 67–70*

ADAPTIVE ALGORITHM FOR ESTIMATION OF HYDRAULIC RESISTANCE OF HEAT TRANSFER SYSTEMS ELEMENTS

S.V. Panferov, V.I. Panferov

The authors develop an adaptive algorithm for the identification of hydraulic resistance of heat transfer systems elements. The paper shows the results of identification algorithm testing. It is shown that the algorithm possesses noticeable filtering properties and can be used as part of heat supply control systems algorithmic support.

Keywords: identification algorithm, hydraulic resistance, algorithmic support, control system, heat supply process.

Panferov Sergey Vladimirovich, candidate of engineering sciences, associate professor of Heat and Gas Supply and Ventilation Department, South Ural State University. Tel.: +7 (351) 2679144.

Panferov Vladimir Ivanovich, doctor of engineering sciences, professor, head of Heat and Gas Supply and Ventilation Department, South Ural State University. Tel.: +7 (351) 2679688.

Поступила в редакцию 14 января 2013 г.