

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ СОДОРЕГЕНЕРАЦИОННОГО КОТЛОАГРЕГАТА

Приводится анализ результатов исследования динамики содорегенерационного котлоагрегата по каналу управления «расход пара – температура дымовых газов». Основное внимание уделяется точности идентификации экспериментальных переходных характеристик дымовых газов как необходимому условию обеспечения требуемой глубины и достоверности формируемого диагноза.

Ключевые слова: содорегенерационный котлоагрегат, объект диагностики, температура дымовых газов, расход пара, конвективная поверхность нагрева, передаточная функция, переходная характеристика, идентификация.

Введение. Оценка степени загрязнения конвективных поверхностей нагрева содорегенерационного котлоагрегата (СРК) в статических режимах является достаточно грубой. Очевидно, такая оценка может быть использована только лишь для предварительного анализа состояния СРК.

Более точная оценка состояния объекта диагностики может быть получена на основании анализа его динамических режимов, когда объект диагностики проявляет себя наиболее полно.

Необходимым условием при решении задач синтеза и диагностики промышленных объектов (ПО) является процесс их идентификации. Причем, при синтезе ПО возможны, а порой необходимы различного рода допущения, направленные на упрощение математических моделей, с целью получения конструктивного результата. При разработке алгоритмов диагностики ПО необходимо избегать любых допущений, так как точность идентификации всецело определяет глубину и достоверность формируемого диагноза. То есть, процесс идентификации ПО является основополагающим при разработке алгоритмов их диагностики.

Постановка задачи. Рассмотрим задачу идентификации динамики СРК по каналу управления «расход пара – температура дымовых газов».

Очевидно, что динамика температуры дымовых газов СРК зависит от многих факторов. Если в качестве варьируемого фактора принять расход пара, подаваемого на обдув конвективных поверхностей нагрева $G(t)$, то экспериментально можно определить переходные характеристики $\theta(t)$ при ступенчатом изменении расхода пара $G(t)$ и передаточную функцию канала «расход пара – температура дымовых газов»

$$W(P) = \frac{\theta(P)}{G(P)}.$$

Анализ экспериментальных характеристик $\theta(t)$ при разных значениях расхода пара позволяет получить информацию о структуре передаточных функций и структурных параметров, а также о допустимости линеаризации исходного дифференциального уравнения, описывающего динамику температуры дымовых газов.

Методы идентификации и диагностики СРК. Для проверки этой рабочей гипотезы были определены экспериментальные переходные характеристики $\theta(t)$ за водяным экономайзером. Входное воздействие объекта диагностики было реализовано 100%-м открытием задвижки и ее полным закрытием. Регистрация $\theta(t)$ проводилась посредством термопары ТХК и автоматическим потенциометром КСП-4.

* - автор, с которым следует вести переписку.

На рис. 1 представлены экспериментальные нормализованные переходные характеристики, где по оси ординат отложены абсолютные значения приращений при полном открытии $\Delta\theta_1(t)$ и полном закрытии $\Delta\theta_2(t)$ задвижки.

На основе анализа экспериментальных данных следует, что увеличение расхода пара на обдув, вызывающее активную теплопередачу от дымовых газов поверхностям нагрева в результате их очистки, приводит к интенсивному понижению температуры выходящих дымовых газов, и инерционность объекта диагностики уменьшается. При уменьшении расхода пара на обдув увеличивается степень загрязнения конвективных поверхностей нагрева, а следовательно и инерционность теплообмена между дымовыми газами и конвективными поверхностями нагрева.

На основании вышеизложенного степень загрязнения конвективных поверхностей нагрева может быть косвенно оценена по параметрам качества переходных характеристик $\Delta\theta_1(t)$ и $\Delta\theta_2(t)$. В

этом смысле параметры качества экспериментальных переходных характеристик можно считать структурными (диагностическими) параметрами степени загрязнения конвективных поверхностей нагрева. Поэтому определение структур передаточных функций и их коэффициентов является первым этапом формирования алгоритмов диагностики СРК.

Экспериментальную переходную характеристику при полном открытии задвижки можно аппроксимировать нормированной передаточной функцией вида

$$W_1(P) = \frac{e^{-\tau_1 P}}{T_1 P + 1}. \quad (1)$$

В результате первичной идентификации определены следующие значения:

$\tau_1 = 3,4$ мин и $T_1 = 15,04$ мин.

Результаты идентификации приведены в табл. 1 и на рис. 2. Интегральная погрешность первичной идентификации составила 1,55 %, что вполне приемлемо для инженерной практики.

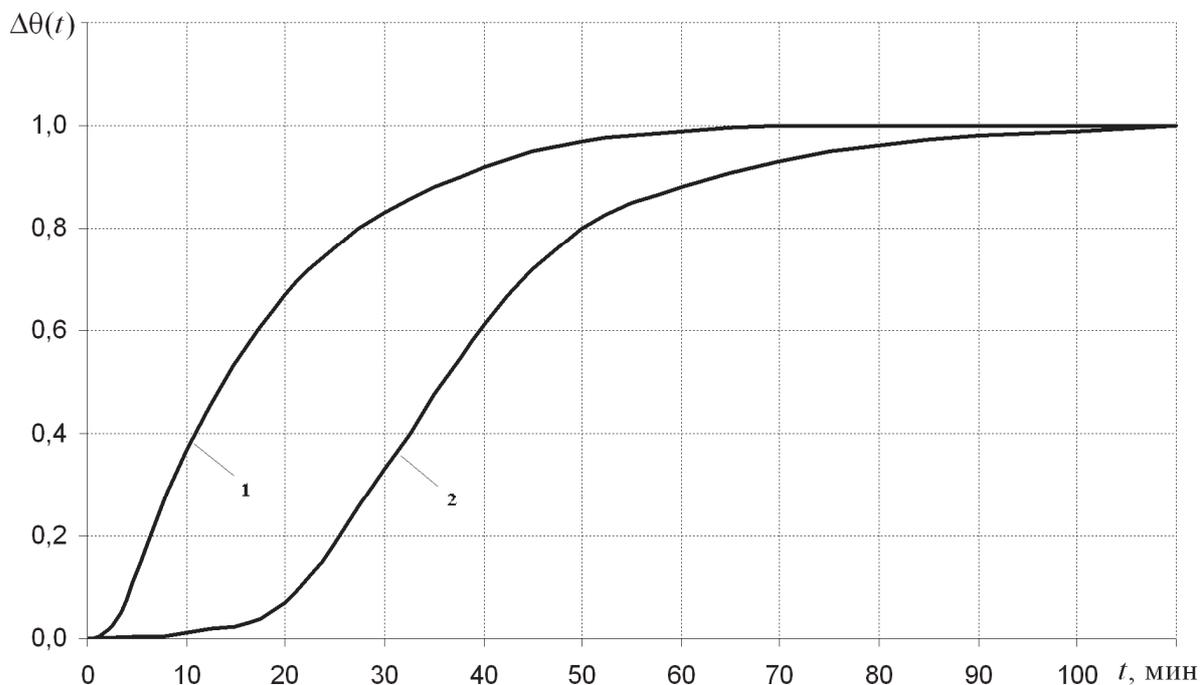


Рис. 1. Экспериментальные нормализованные переходные характеристики $\Delta\theta_1(t)$ (кривая 1) и $\Delta\theta_2(t)$ (кривая 2).

Таблица 1

t , мин	0	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000
$\Delta\theta_{1Э}(t)$	0	0,370	0,670	0,830	0,920	0,970	0,990	1,000	1,000	1,000
$\Delta\theta_{1Р}(t)$	0	0,355	0,668	0,829	0,912	0,955	0,977	0,988	0,994	0,997
$ \Delta\theta_{1Э}(t) - \Delta\theta_{1Р}(t) $	0	0,015	0,002	0,001	0,008	0,015	0,013	0,012	0,006	0,003
$\delta(\Delta\theta_1(t))$, %	0	4,054	0,299	0,120	0,870	1,546	1,313	1,200	0,600	0,300

Известно, что аналитического решения функция $e^{-\tau P}$ не имеет, так как число корней характеристического полинома этого уравнения бесконечно. Это можно показать, разлагая $e^{\tau P}$ в ряд Маклорена

$$e^{-\tau P} = \frac{1}{e^{\tau P}} = \frac{1}{1 + \frac{\tau P}{1!} + \frac{(\tau P)^2}{2!} + \frac{(\tau P)^3}{3!} + \dots + \frac{(\tau P)^n}{n!} + \dots}$$

Приближенное выражение переходного процесса $\Delta\theta_1(t)$ при полном открытии задвижки может быть получено, если в

разложении экспоненты ограничиться несколькими членами ряда (например, двумя членами), тогда передаточная функция (1) будет иметь вид

$$W_1(P) = \frac{1}{(1 + \tau_1 P)(T_1 P + 1)}$$

Ей соответствует оригинал (переходная функция)

$$\Delta\theta_1(t) = 1 + \frac{\tau_1}{T_1 - \tau_1} e^{-\frac{t}{\tau_1}} - \frac{T_1}{T_1 - \tau_1} e^{-\frac{t}{T_1}}$$

Погрешность идентификации в этом случае составила 1,29 %.

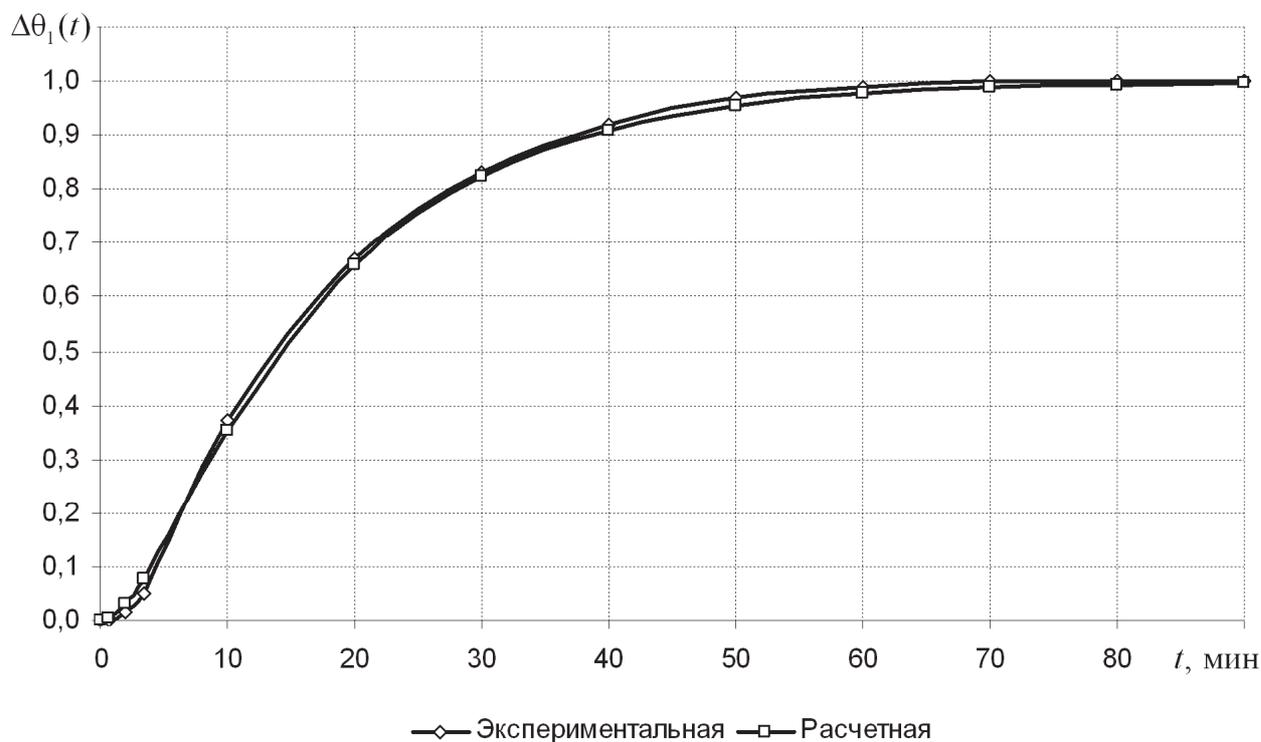


Рис. 2. Экспериментальная и расчетная переходные характеристики температуры дымовых газов при полном открытии задвижки.

Экспериментальную переходную характеристику при полном закрытии задвижки можно аппроксимировать нормированной передаточной функцией вида

$$W_2(P) = \frac{e^{-\tau_2 P}}{(T_2 P + 1)^3}. \quad (2)$$

Приближенное уравнение переходного процесса $\Delta\theta_2(t)$ при полном закрытии задвижки может быть получено, если в разложении экспоненты ограничиться несколькими членами ряда (например, двумя членами), тогда передаточная функция (2) будет иметь вид

$$W_2(P) = \frac{1}{(1 + \tau_2 P)(T_2 P + 1)^3}.$$

Ей соответствует оригинал (переходная функция)

$$\Delta\theta_2(t) = 1 + C_1 e^{-\frac{t}{\tau_2}} - (C_2 + B_1 t + B_2 t^2) e^{-\frac{t}{T_2}},$$

где $B_1 = \frac{T_2 - 2\tau_2}{(T_2 - \tau_2)^2}$, $B_2 = \frac{1}{2(T_2 - \tau_2)T_2}$,
 $C_1 = \frac{\tau_2^3}{(T_2 - \tau_2)^3}$, $C_2 = \frac{\tau_2^3 + (T_2 - \tau_2)^3}{(T_2 - \tau_2)^3}$.

В этом случае погрешность идентификации составила 3,12 %.

Если же в уравнении ограничиться четырьмя членами ряда Маклорена, то передаточная функция (2) будет иметь вид

$$W_2(P) = \frac{1}{(1 + \tau_2 P + \frac{\tau_2^2}{2} P^2 + \frac{\tau_2^3}{6} P^3)(T_2 P + 1)^3}.$$

Соответственно, погрешность идентификации составила 1,57 %. В результате вычислений получены значения $\tau_2 = 11,6$ мин и $T_2 = 8,9$ мин. При реализации оптимизационной (вторичной) идентификации [1, 2] погрешность уменьшилась до значения 1,41 %. Экспериментальная переходная характеристика $\Delta\theta_2(t)$ и результаты ее аппроксимации приведены в табл. 2 и изображены на рис. 3.

Таблица 2

t , мин	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
$\Delta\theta_{2Э}(t)$	0	0	0,070	0,330	0,610	0,800	0,880	0,930	0,960	0,980	0,990	1,000
$\Delta\theta_{2Р}(t)$	0	0	0,070	0,342	0,618	0,805	0,908	0,959	0,982	0,992	0,997	0,999
$\Delta\theta_{2В}(t)$	0	0	0,075	0,309	0,601	0,801	0,899	0,949	0,977	0,991	0,996	0,998
$ \Delta\theta_{2Э}(t) - \Delta\theta_{2Р}(t) $	0	0	0,000	0,012	0,008	0,005	0,028	0,029	0,022	0,012	0,007	0,001
$ \Delta\theta_{2Э}(t) - \Delta\theta_{2В}(t) $	0	0	0,005	0,021	0,009	0,001	0,019	0,019	0,017	0,011	0,006	0,002
$\delta(\Delta\theta_{2Р}(t))$, %	0	0	0,000	3,64	1,31	0,63	3,19	3,12	2,29	1,22	0,71	0,1
$\delta(\Delta\theta_{2В}(t))$, %	0	0	7,14	6,36	1,47	0,12	2,16	2,04	1,78	1,12	0,61	0,2

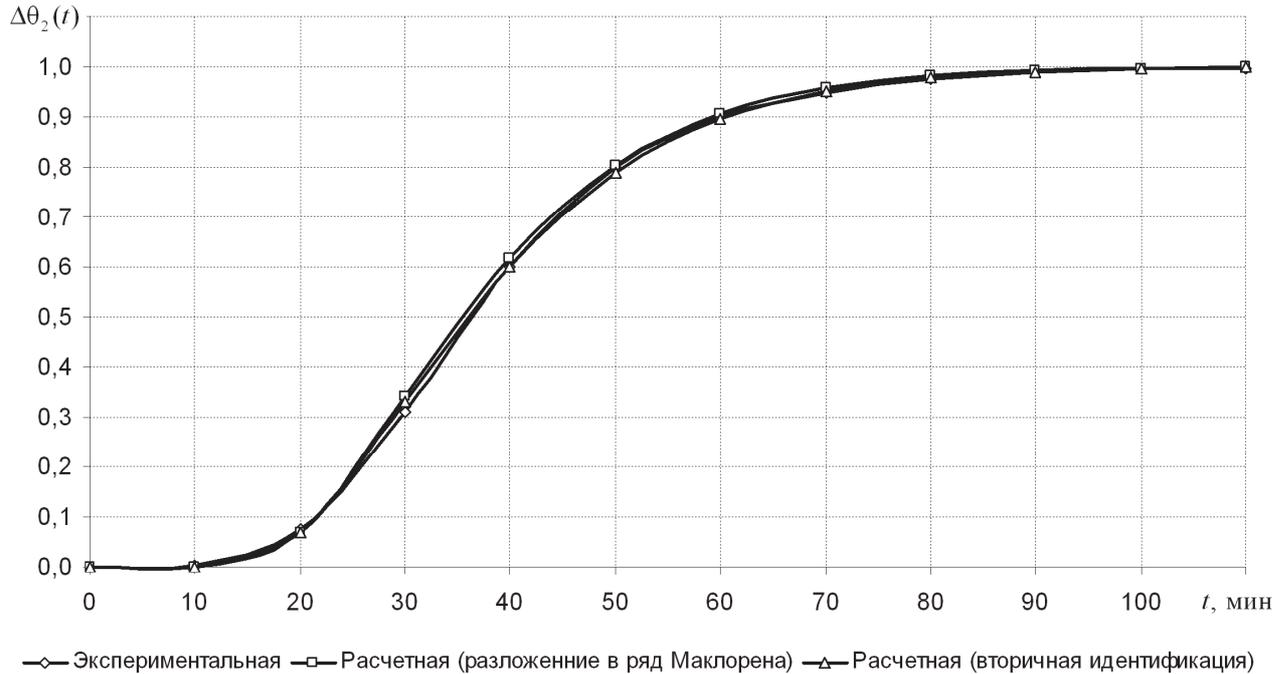


Рис. 3. Экспериментальная и расчетные переходные характеристики температуры дымовых газов при полном закрытии задвижки.

Для задания технических условий на контроль обобщенных характеристик $\Delta\theta_1(t)$, $\Delta\theta_2(t)$ и структурных параметров τ_1 , T_1 , τ_2 , T_2 необходимо определить их погрешности.

В случае малых отклонений обобщенных и структурных параметров в окрестностях их максимальных значений на основании принципа равных влияний

$$\delta(\Delta\theta_1) = K_{\tau_1}\delta\tau_1 + K_{T_1}\delta T_1 \quad \text{и} \quad \delta(\Delta\theta_2) = K_{\tau_2}\delta\tau_2 + K_{T_2}\delta T_2,$$

$$\text{где } K_{\tau_i} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \Delta\theta_i(t)}{\partial \tau_i} dt}{(t_2 - t_1)K_{\tau_{i\max}}},$$

$$K_{T_i} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \Delta\theta_i(t)}{\partial T_i} dt}{(t_2 - t_1)K_{T_{i\max}}} \quad - \quad \text{относительные}$$

величины интегральных коэффициентов влияния структурных параметров τ_1 , T_1 , τ_2 , T_2 ($i=1, 2$);

$(t_2 - t_1)$ – интервалы времени, определяющие окрестности максимальных величин коэффициентов влияния.

Графики зависимостей $\frac{\partial \Delta\theta_i(t)}{\partial \tau_i}$,

$\frac{\partial \Delta\theta_i(t)}{\partial T_i}$ представлены на рис. 4 ($i = 1, 2$).

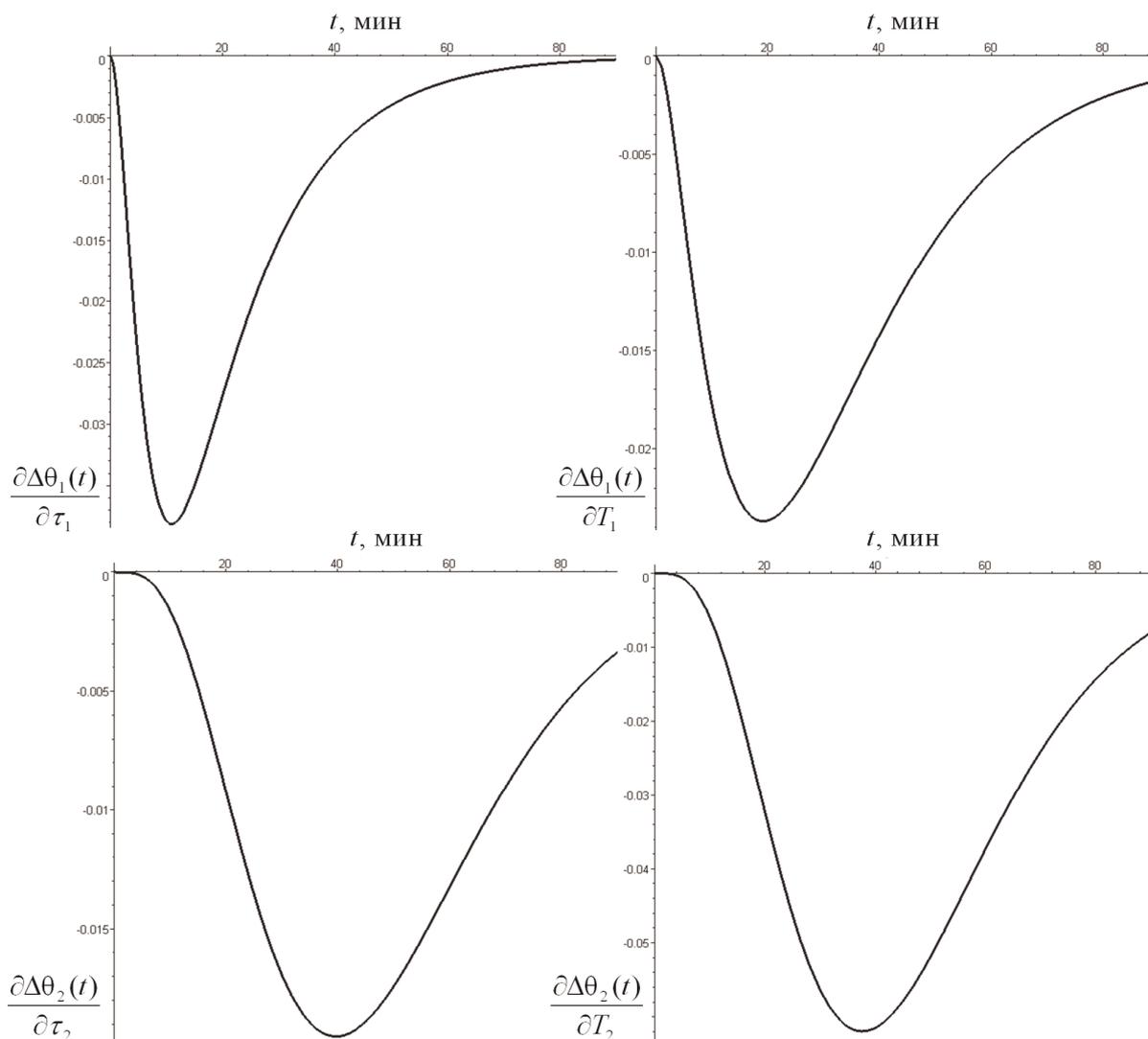


Рис. 4. Зависимости коэффициентов влияния от времени в окрестностях максимальных значений.

Соответственно $K_{\tau_1} = 0,894$; $K_{T_1} = 0,953$; $K_{\tau_2} = 0,849$; $K_{T_2} = 0,854$. Приближенно, в соответствии с принципом равных влияний относительные погрешности структурных параметров могут быть определены из выражений:

$$\delta\tau_1 = \frac{\delta(\Delta\theta_1)}{2 \cdot K_{\tau_1}} = \frac{1,12\%}{2 \cdot 0,894} = 0,63\% ;$$

$$\delta T_1 = \frac{\delta(\Delta\theta_1)}{2 \cdot K_{T_1}} = \frac{1,12\%}{2 \cdot 0,953} = 0,59\% ;$$

$$\delta\tau_2 = \frac{\delta(\Delta\theta_2)}{2 \cdot K_{\tau_2}} = \frac{3,45\%}{2 \cdot 0,849} = 2,03\% ;$$

$$\delta T_2 = \frac{\delta(\Delta\theta_2)}{2 \cdot K_{T_2}} = \frac{3,45\%}{2 \cdot 0,854} = 2,01\% .$$

Для уменьшения относительной погрешности определения структурных параметров τ_1 , T_1 , τ_2 , T_2 желательно, чтобы относительная погрешность идентификации в окрестностях точек максимальных величин коэффициентов влияния была минимальной.

Выводы.

1. Оценка степени загрязнения конвективных поверхностей нагрева в статических режимах объекта диагностики является достаточно грубой. Очевидно, такая оценка может быть использована только лишь для предварительного определения состояния объекта диагностики. Более точная оценка состояния объекта может

быть получена на основании анализа его динамических режимов, когда объект проявляет себя наиболее полно.

2. Увеличение расхода пара на обдув ($\Delta G_{об}$) вызывает активную теплопередачу от дымовых газов поверхностям нагрева в результате их очистки, поэтому происходит активное понижение температуры выходящих дымовых газов. При уменьшении расхода пара на обдув увеличивается степень загрязнения конвективных поверхностей нагрева, что снижает теплоотдачу, а следовательно, увеличивается инерционность объекта.

3. Физическая интерпретация структурных параметров, определенных в результате идентификации и характеризующих динамику температуры дымовых газов, в прагматическом аспекте может быть получена на основании результатов обследования степени и характера загрязнения поверхностей нагрева.

4. Для уменьшения относительной погрешности определения структурных параметров τ_1 , T_1 , τ_2 , T_2 желательно, чтобы

относительная погрешность идентификации в окрестностях точек максимальных величин коэффициентов влияния была минимальной.

5. Динамика температуры дымовых газов, как показали исследования по идентификации их переходными функциями, может быть с достаточной для инженерной практики точностью описана линейными дифференциальными уравнениями.

Литература

1. Программа по вторичной идентификации (VtorId v1.00): программа для ЭВМ / Патрусова А. М., Колтыгин Д. С., Лузгин В. В. Св. № 2003612203 ; зарег. в реестре программ 26.09.2003.

2. Программа по идентификации передаточной функции с запаздыванием (Time-DelayId v.1.00): программа для ЭВМ / Панасов В. В., Колтыгин Д.С., Лузгин В. В. Св. ГР № 2003612203; зарег. в реестре программ 21.01. 2008.

УДК 681.3,681.5

Ю.А. Шичкина

ПРИМЕНЕНИЕ СПИСКОВ СЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ГРАФА ПО ВЫСОТЕ

В процессе длительного использования последовательных компьютеров был накоплен и тщательно отработан огромный багаж численных методов и программ. Попытка разработать специальные параллельные методы, в частности методы малой высоты, оказалась на практике несостоятельной. Поэтому одним из решений проблемы создания эффективных численных методов для компьютеров с параллельной архитектурой является построение по последовательному алгоритму информационного графа и его преобразование с помощью разреженных матриц к параллельной форме с достаточной шириной ярусов и с последующей реализацией на параллельном компьютере. В данной статье показано, что, применяя матричный аппарат, можно не только формализовать этот процесс, но и найти оптимальное решение задачи распараллеливания алгоритма с учетом таких параметров, как количество процессоров, время вычислений и плотность вычислений на единицу времени.

Ключевые слова: параллельный алгоритм, информационный граф, ширина графа, разреженная матрица.