

и ее решение

$$y(t) = k \left( 1 - C_1 \exp\left(-\frac{t-\tau}{T_1}\right) - C_2 \exp\left(-\frac{t-\tau}{T_2}\right) \right),$$

где  $C_1, C_2, b$  – коэффициенты, определяемые через  $T_1, T_2, T_3$ .

Используя алгоритм минимизации среднеквадратичного отклонения (СКО), были найдены оптимальные коэффициенты для передаточной функции (табл. 1-2).

Таблица 1 – Результаты для кривой разгона

Модель	$k$	$T_1, \text{мс}$	$T_2, \text{мс}$	$T_3, \text{мс}$	$\tau, \text{мс}$	СКО $\cdot 10^{-3}$
$W_1$	1,16	31,0	0,869	7,64	8,37	5,92
$W_2$	1,15	62,4	42,4	75,1	14,4	5,98
$W_3$	1,13	0,552	21,6	8,43	11,5	5,96
$W_4$	1,16	31,6	6,89	-	9,65	5,92

Таблица 2 – Результаты для кривой торможения

Модель	$k$	$T_1, \text{мс}$	$T_2, \text{мс}$	$T_3, \text{мс}$	$\tau, \text{мс}$	СКО
$W_1$	1,16	7,87	0,0699	7,68	0,543	653,18
$W_2$	1,15	56,7	16,2	71,1	3,88	605,10
$W_3$	1,13	8,05	8,04	8,55	0,597	652,91
$W_4$	1,16	7,79	7,77	-	0,613	653,14

Как визуальный анализ, так и математический результат показывают существенные отличия в динамике объекта управления при увеличении частоты и уменьшении. С хорошей точностью (особенно кривая торможения) динамики аппроксимируется характеристика аperiodическими звеньями 2-3 порядка, однако общая динамика более сложна. Наибольшие погрешности наблюдаются на начальном участке, особенно для кривой разгона.

Сильнее всего изменяется механическая составляющая динамики и время запаздывания, что связано, скорее всего, с нелинейным влиянием сил трения и силового драйвера схемы.

УДК 681.5

## АНАЛИЗ КРИТЕРИЯ СЕРИЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРОГРАММИРУЕМЫМ КОНТРОЛЛЕРАМ

*Сухорукова М.П., Шитик А.М., Оробей И.О., Гринюк Д.А.*  
Белорусский государственный технологический университет,  
Минск, Республика Беларусь

Наличие автоматизации технологических процессов стало обязательным условием в современных экономических условиях. Период экстенсивного пути повышения уровня автоматизации за счет установки измерительных приборов с необходимой точностью и настройкой локальных контуров практически завершился. В настоящее время уже недостаточно просто настроить пропорциональ-

но-интегрально-дифференциальный регулятор. Получение конкурентных преимуществ требует применения более сложных алгоритмов, адаптации локальных контуров под действием изменяющихся контуров и оптимизации в реальном времени. В англоязычной литературе возник специальный термин: усовершенствованное управление Advanced Process Control (APC) [1, 2].

На сегодняшний момент основные задачи управления реализуются с помощью программируемых логических контроллеров (ПЛК) для построения распределенных систем управления (PCU). Вычислительные ресурсы разных классов ПЛК существенно отличаются. Контроллеры с высоким уровнем ресурсов, которые могут решать широкий класс задач управления, имеют более высокую стоимость. Это является следствием требования по обеспечению работы ПЛК в режиме реального времени. В то же время основную нагрузку по управлению в промышленности выполняют контроллеры с малой и средней вычислительной мощностью, в которых имеется ограничение на объем памяти и реализацию алгоритмов теории управления [3].

Одной из возможностей предсказания смены режимов работы настроек системы регулирования при ограничении на вычислительные мощности является использование критерия серий для выявления изменений трендов. Исследования [4] по критерию серий проводились в условиях воздействия на информационный поток случайного процесса, сгенерированного с помощью программы MatLAB. Известно, что результаты, апробированные на математических моделях, нередко расходятся с данными, полученными на реальных объектах. Чаще всего математический аппарат лучше адаптирован к работе с нормальным распределением случайных величин, которое не всегда выполняется в реальных процессах. Применение критерия серий позволяет реальные данные преобразовать в промежуточные, для которых соблюдается нормальное распределение.

С целью адаптации критерия серий был проведен ряд экспериментов, базой для которых служил контроллер VIPA 200V. Он относится к серии средних ПЛК и может реализовать алгоритмы ПИД-регулирования и цифровой фильтрации. Время выполнения операции с битами – 0,25 мкс, со словами – 1,2 мкс. Объем памяти: 48 кВ рабочая память, 80 кВ загрузочная память [3].

Контроллер подключен к оборудованию с тепловыми нагревателями, которые обдувались потоком воздуха. Скорость потока регулировалась путем изменения частоты вращения двигателя вентилятора. В качестве информативных параметров использовались температура воздуха на входе и выходе, информация о частоте с привода напрямую и через вторичный преобразователь.

Контроллер имеет два вида входных аналоговых модулей. Один из модулей имеет 12-битовый выходной цифровой код с максимальным значением 16 384, но с учетом того, что три младших разряда всегда имеют нулевое значение, то весь диапазон разбивается всего на 2048 уникальных комбинаций цифрового кода. У другого модуля контроллера максимальное значение сигнала 27 648. В нашем случае ко второму модулю подключен термометр сопротивления с градуировкой Pt100 и младшему значащему разряду (МЗР) соответствует температура 0,1°C. Однако, как и в первом случае, часть младших разрядов также за-

полняется нулями. С точки зрения устойчивости использования результатов подобных данных в контурах регулирования, их обычно сглаживают с помощью фильтров. Наиболее простым решением является использование экспоненциального фильтра или скользящего среднего. Поэтому в контроллере для потока 1 были реализованы различные варианты фильтрации. Время дискретизации настраивалось с помощью встроенного механизма организационного блока ОВ35, который устанавливает время дискретизации  $h = 500$  мс как для экспоненциального фильтра с постоянными времени  $T = 10$  с или  $T = 100$  с, так и для скользящего среднего с длиной 6.

Термометр сопротивления на входе в объект через интеллектуальный вторичный прибор, настроенный на диапазон  $0-150^{\circ}\text{C}$ , подключался к модулю с 12-битовым АЦП и МЗР  $\approx 0,073^{\circ}\text{C}$ . К этому модулю был подключен и сигнал с частотного привода через вторичный прибор с МЗР  $\approx 0,024$  Гц. Сигнал о частоте напрямую с привода позволял получить МЗР  $\approx 0,0018$  Гц.

Управление и фиксация данных осуществлялись с помощью MatLab по структуре обмена данными. Опрос данных происходил с частотой 0,1 с. Исходные данные с входных регистров одновременно пропускались через фильтры низкой частоты с постоянными времени 10 и 100 с. Работа критерия оценивалась в условиях ступенчатого изменения сигнала задания по частоте с различным размахом, а также при плавном подъеме и опускании частоты с различной скоростью нарастания. Основные тренды изменения температуры на выходе  $\theta_{out}$  и входе  $\theta_{in}$  представлены на рис. 1 и 2.

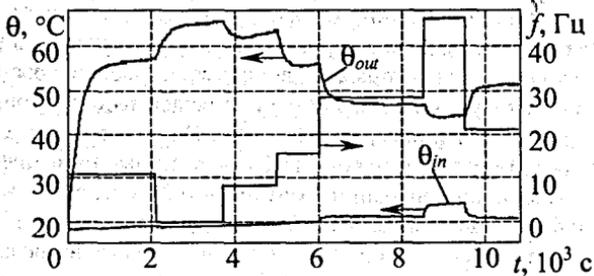


Рисунок 1 – Переходные процессы на объекте при ступенчатом изменении частоты

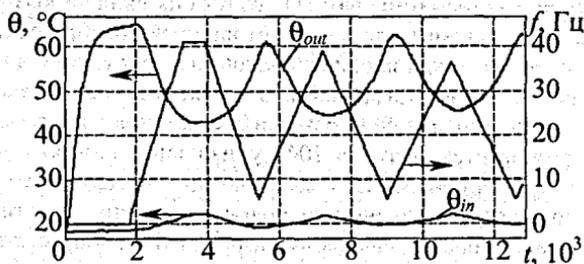


Рисунок 2 – Переходные процессы на объекте при пилообразном изменении частоты

Некоторые результаты обработки данных относительно среднего значения серий  $\mu$  отражены на рис. 3. Чтобы не утратить преимущество данного критерия для ПЛК длина серий  $N$  не задавалась выше 128. В отличие от математических экспериментов [5] в данном случае присутствует дополнительная настройка времени выборки данных  $t_i$ . Выбор  $t_i$  зависит от динамических свойств измерительных и регулируемых каналов. Для данного объекта оптимальным является значение в районе 8-12 с.

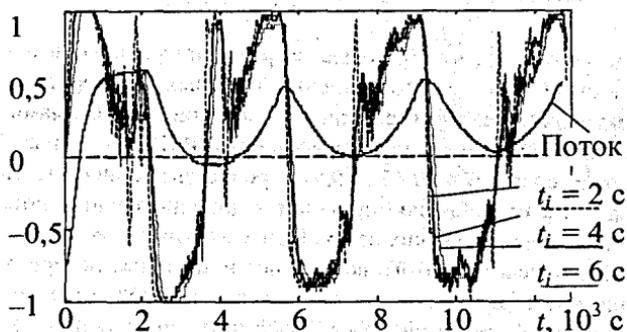


Рисунок 3 – Относительные изменения  $\sigma_{отн}$  и  $\mu$  при длине серии  $N = 48$  и разном времени дискретизации  $t_i$

Фильтр скользящего среднего не позволил уверенно выявлять тренды ввиду несоизмеримости его длины со скоростями изменения измерительной информации. Формирование FIFO для данного фильтра в MatLAB со значительно большими интервалами позволило обеспечить устойчивую работу критерия серий.

В целом для задач выявления резких изменений трендов информационных потоков критерий серий проявил себя с наилучшей стороны. Высокое быстродействие ПЛК позволяет ограничиться невысокой длиной серий  $N$  для выявления критических явлений. Тщательная настройка  $N$  и  $t_i$  может позволить производить грубую оценку скорости, особенно, если оценивать  $\mu$  по нескольким  $N$ .

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Emerson Process Management [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/en-us/brands/deltav/advanced/pages/index.aspx>. – Дата доступа: 4.02.2013.
2. Журнал Control Engineering Россия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://controlengrussia.com/proekty-i-vnedrenija/metody-usovershenstvovannogo-upravlenija-processami>. – Дата доступа: 4.02.2013.
3. VIPA GmbH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vipa.co.uk/products/system-200v/cpus>. – Дата доступа: 6.02.2013.
4. Олсон, Г. Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Олсон, Д. Пиани. – СПб: Невский диалект, 2001. – 557 с.
5. Сухорукова, И.Г. Эффективность работы адаптации фильтра на критерии серий / И.Г. Сухорукова, И.О. Оробей, Д.А. Гринюк // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. 2011. Вып. XIX. – С. 107-111.