

## **МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПТК ДЛЯ АСУТП ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

*Сердюков О.В.*

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН (ИАиЭ СО РАН)*

### **Введение**

Современные АСУТП для крупных объектов теплоэнергетики строятся с использованием больших и сложных программно-технических комплексов (ПТК).

Одним из показателей качества ПТК для АСУТП является соответствие техническим требованиям, сведенными в нормативные документы и стандарты. Требования к ПТК для АСУТП теплоэлектростанций сформулированы в документе РД 153-34.1-35.127-2002, введенном РАО ЕЭС в ноябре 2002 года. В июне 2011 нормы и требования к ПТК для АСУТП ТЭС были введены в стандарте СТО 70238424.27.100.010-2011 некоммерческого партнерства «Инновации в электроэнергетике» (НП «ИНВЭЛ»).

Среди прочих показателей, в этих нормативных документах заданы требования к быстродействию ПТК, но не указано, как измерять это быстродействие.

В докладе описана методика измерения параметров быстродействия ПТК для АСУТП, совместно разработанная компанией «Модульные Системы Торнадо» и Институтом автоматики и электрометрии СО РАН.

В 2004 году методика была утверждена в ОРГРЭС г. Москва для целей сертификации ПТК в системе «Энсертико». В 2010 году методика была доработана с учетом опыта ее применения и введена как внутренний стандарт компании «Модульные Системы Торнадо».

Методика успешно применяется для измерения параметров быстродействия ПТК как классической, так и новой архитектуры, в которой единая однородная распределенная среда передачи данных объединяет на одном уровне все элементы системы управления: устройства ввода-вывода, процессорные устройства, серверы и рабочие станции.

### **Требования к методике**

Измерения параметров быстродействия производятся в условиях, когда все технические средства ПТК полностью развернуты и нормально функционируют, а все программные средства всех уровней загружены, настроены и работают нормально и согласованно. В том числе, в ПТК должны быть полностью работоспособны все программы технологического управления.

Программы технологического управления работают по циклическому алгоритму, когда в начале производится опрос модулей ввода, внутри цикла выполняется логическая привязка событий и производится их программная обработка, а в конце цикла формируются управляющие воздействия, которые выдаются через модули вывода.

Измерения проводятся в условиях работы всего комплекса и имитации изменений состояния объекта для постоянной генерации потока событий, в 3 раза превышающего поток событий, соответствующий стационарному состоянию объекта управления.

Программы измерений встраиваются в рабочие программы ПТК в виде подпрограмм, обеспечивающих только считывание и передачу информации в контрольных точках и никак не влияющих на выполнение алгоритмов управления.

ПТК, для которого проводятся измерения, должен обеспечивать полнофункциональное управление энергетической установкой – турбиной мощностью более 60 МВт или энергетическим котлом мощностью более 210 тп/ч или энергоблоком мощностью более 50 МВт с общим числом физических каналов управления более 1000.

Полученные для такого ПТК результаты можно считать оценками сверху для ПТК, управляющих технологическими объектами с меньшими характеристиками. Но методика не запрещает проведение измерений быстрого действия любого ПТК, при необходимости.

### **Решение**

Результат измерения отдельного параметра быстрого действия определяется путем проведения испытаний, при которых в программном обеспечении ПТК организуются контрольные точки, а также используется специально разработанная переносная моделирующая станция (МС).

Каналы моделирующей станции подключаются к каналам ПТК вместо технологического оборудования.

Моделирующая станция формирует дискретные и аналоговые сигналы заданных уровней и интервалов, обеспечивает ввод этих сигналов в ПТК, регистрирует изменения контролируемых сигналов из ПТК и измеряет временные интервалы между формированием сигналов для ПТК и поступлением ответных сигналов.

При измерениях не учитываются задержки на стороне моделирующей станции при формировании исходящих сигналов и регистрации входящих сигналов, поскольку эти задержки незначительны по сравнению с минимально возможным временем обработки сигналов в ПТК.

Моделирующая станция подключается по локальной сети Ethernet к компьютеру АРМ МС, на котором установлено программное обеспечение для настройки и запуска процесса измерения, а также для приема и обработки результатов измерений.

Во время проведения измерений станция работает строго автономно, не взаимодействуя с АРМ МС. Результаты измерений фиксируются на МС в файле протокола, который передается в АРМ только по запросу пользователя.

Прикладное программное обеспечение моделирующей станции (ПО МС) написано на языке С и исполняется в операционной системе реального времени OS-9.

ПО МС позволяет измерить следующие параметры быстрого действия ПТК:  
– время опроса дискретных сигналов;

- время опроса аналоговых сигналов;
- общую задержку при передаче информации по дискретным и аналоговым каналам технологических защит, регулирования и блокировок;
- время квантования импульса регулятора и длительность импульса регулирования;
- общую задержку между установкой сигналов и их отображением на терминале оператора;
- общую задержку между командой оператора и исходящим сигналом ПТК.

Опишем несколько сценариев измерения этих параметров.

### Измерение времени опроса дискретных сигналов

При измерении времени опроса дискретных сигналов определяется минимальная длительность сигнала, при которой он всегда фиксируется в системе. Измеряемая величина характеризует разрешающую способность системы в части обработки входящих дискретных сигналов.

Для измерения собирается следующая установка (Рис. 1).

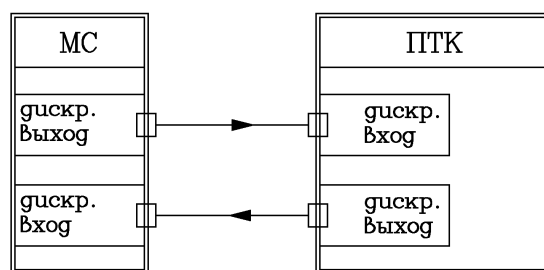


Рис. 1. Схема установки для измерения времени опроса дискретного сигнала.

В моделирующей станции МС формируется исходящий тестовый дискретный сигнал, который подается на дискретный вход ПТК.

В управляющей программе ПТК, обрабатывающей сигнал с этого дискретного входа, организуется контрольная точка, в которой определяется факт фиксации сигнала. При успешной фиксации тестового сигнала в контрольной точке формируется ответный подтверждающий дискретный сигнал, который передается из ПТК в МС. Тестовый сигнал считается зафиксированным на стороне ПТК и зарегистрированным в МС, если ответный сигнал об успешном приеме поступает не позже, чем через время таймаута.

Принцип измерения времени опроса состоит в периодической подаче импульса переменной длительности на вход ПТК и отслеживании факта его регистрации. Измерения и получение результата проводятся по набору статистики путем построения графика, отражающего зависимость относительного числа зарегистрированных импульсов от их длительности (рис. 2). При длительности импульсов короче времени опроса такая зависимость должна быть возрастающей, а при большей длительности относительное число регистрируемых импульсов должно быть равно единице, то есть все такие импульсы будут регистрироваться в ПТК.

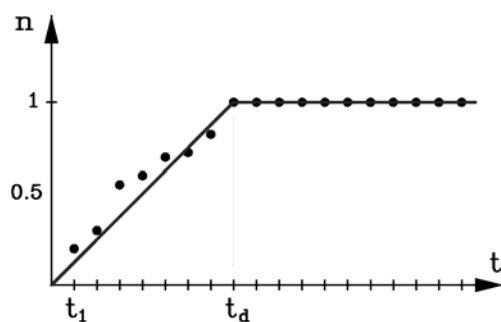


Рис. 2. Общий вид графика, используемого при определении времени опроса дискретных сигналов.

Исходя из этого принципа, алгоритм измерения строится следующим образом. МС формирует импульс длительностью  $t_1$  и ожидает ответный дискретный сигнал из ПТК. Если отклик получен через время  $t_{\max}$ , фиксируется факт регистрации импульса. Из числа  $N$  таких циклов вычисляется относительное число зарегистрированных импульсов по формуле

$$n_1 = \frac{N_1}{N}$$

где  $N_1$  – число зарегистрированных в МС импульсов длительностью  $t_1$ .

Аналогично выполняются серии измерений для импульсов длительностью  $t_2, t_3, \dots$  из которых вычисляются значения  $n_2, n_3, \dots$ , после чего строится график  $n_i(t_i)$ .

Результатом измерения считается длительность сигнала, при которой возрастающая зависимость переходит в постоянную зависимость.

На рис. 3 приведен пример графика, построенного по результатам измерений для дискретного сигнала, который обрабатывается управляющей программой с циклом 50 миллисекунд.

Определенная по графику величина времени опроса – 55 миллисекунд.

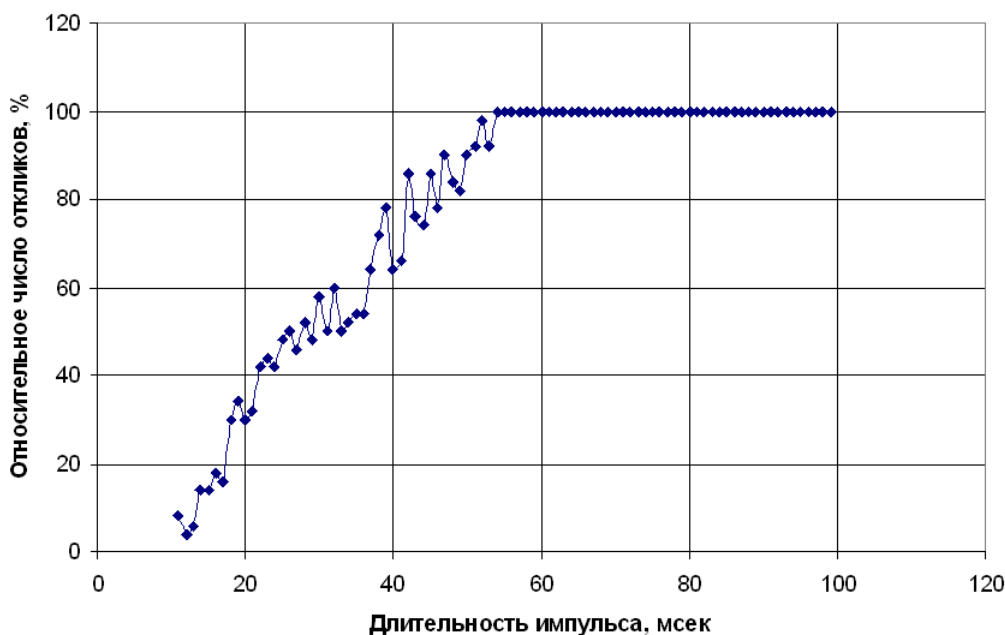


Рис. 3. Пример графика, построенного по результатам измерений при определении времени опроса дискретного сигнала.

## Измерение общей задержки в передаче информации по дискретным и аналоговым каналам технологических защит, регулирования и блокировок

Для дискретных каналов технологических защит измерение общей задержки организуется следующим образом.

В ПТК выбирается такой задействованный в срабатывании одной из защит дискретный канал ввода, для которого существует парный канал вывода, изменяющий свое состояние при срабатывании данной защиты. МС подключается к этим двум каналам, чтобы формировать сигналы для канала ввода и регистрировать изменения в канале вывода. Регистрирующая подпрограмма на стороне ПТК в этом случае не нужна.

Формирование в МС дискретного входного сигнала для ПТК выполняется  $N$  раз. При этом измеряется задержка  $t_i$  до момента изменения состояния выходного канала. Результатом измерения считается значение максимального времени задержки  $t_{\max}$ .

Тем же способом определяется общая задержка для дискретных каналов, задействованных в реализации регулировок и блокировок.

На рис. 4 приведен пример графика распределения измеренного времени задержки при установке выходного дискретного сигнала, парного к задействованному в защитах входному дискретному сигналу, при обработке которого цикл управляющей программы равен 10 миллисекундам. Определенная по графику величина общей задержки – 55 миллисекунд.

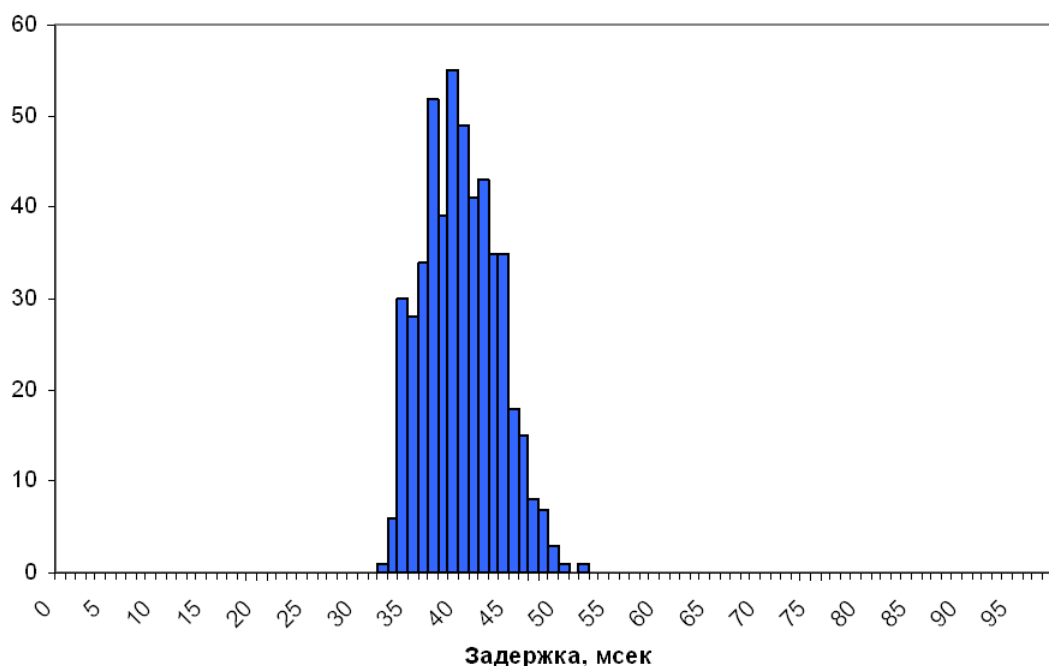


Рис. 4. Пример распределения времени задержки для задействованного в защитах дискретного сигнала.

При измерении общей задержки для аналоговых каналов технологических защит, регулирования и блокировок такой канал подключается к МС, в которой формируется соответствующий аналоговый сигнал.

В МС вводятся два ответных дискретных сигнала, за формирование которых на стороне ПТК отвечает регистрирующая подпрограмма.

Измерения проводятся для трех уровней аналогового воздействия, попадающих в диапазон измеряемых значений ПТК:  $U_A < U_B < U_C$ .

При попадании измеренного значения аналогового сигнала в диапазон  $U_A \pm \Delta$ ,  $U_B \pm \Delta$ ,  $U_C \pm \Delta$ , регистрирующая подпрограмма в ПТК формирует на дискретных выходах кодовую комбинацию, соответствующую уровням сигналов: «01» для  $A$ , «10» для  $B$  и «11» для  $C$ .

МС поочередно устанавливает один из трех уровней аналогового сигнала в порядке  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow \dots$  и измеряет задержку до момента появления ожидаемой комбинации на дискретных линиях.

По результатам серии из  $N$  измерений задержек для всех трех переходов ( $A \rightarrow B$ ,  $B \rightarrow C$  и  $C \rightarrow A$ ) определяется максимальное время  $t_{\max}$ , которое принимается за величину общей задержки для сигналов данного типа.

На рис. 5 приведен пример графика распределения измеренного времени задержки при переходе  $A \rightarrow B$  для задействованного в защитах аналогового сигнала, при обработке которого цикл управляющей программы равен 50 миллисекундам. Измерения выполнялись для токового сигнала с параметрами:  $U_A = 0$ ,  $U_B = 8$  мА,  $U_C = 16$  мА. Определенная по графику величина общей задержки при этом переходе – 680 миллисекунд.

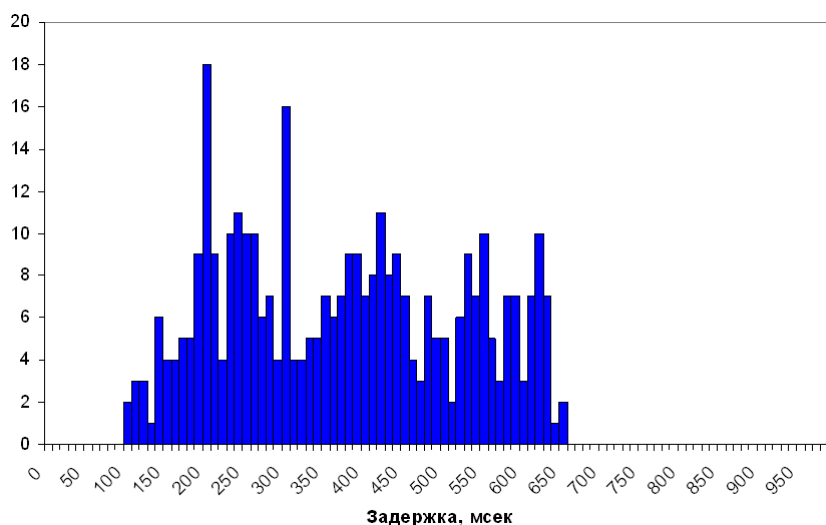


Рис. 5. Пример распределения времени задержки при переходе  $A \rightarrow B$  для задействованного в защитах аналогового сигнала.

### **Измерение времени квантования импульса регулятора и длительности импульса регулирования**

Для измерения характеристик реализованных в ПТК средств авторегулирования МС подключается к каналу аналогового ввода, из которого считываются текущие значения параметра регулирования. МС также подключается к двум каналам дискретного вывода, через которые выдаются воздействия положительной и отрицательной фазы.

При измерениях используется реализованная в МС программная модель объекта регулирования, математически описываемая фильтром второго порядка:

$$\frac{1}{\omega_0} \frac{dY}{dt} + Y = A \cdot \int_0^t (v_+ - v_-) \cdot dt,$$

или в алгоритмическом представлении

$$\frac{1}{\omega_0} \frac{Y_n - Y_{n-1}}{\Delta t_n} + Y_{n-1} = A \cdot \sum_n (v_+ - v_-)_n \cdot \Delta t_n$$

где  $v_+$ ,  $v_-$  – входное воздействие, принимающее значение 0 или 1, в соответствии с сигналами на дискретных входах положительной и отрицательной фазы;  $Y$  – регулируемая величина;  $\omega_0$  и  $A$  – параметры, определяющие свойства объекта регулирования. Программа выполняется в реальном масштабе времени с шагом времени  $\Delta t$  много меньшим длительности цикла регулирования.

На МС, одновременно с выполнением программы эмуляции, ведется подсчет длительности импульсов регулирования для положительной и отрицательной фазы, а также накапливаются результаты измерений в форме гистограммного распределения. Чтобы обеспечить изменения длительности импульсов регулирования, в моделирующей программе искусственно вносятся периодические возмущения на регулируемую величину. Результат измерения строится на основании полученного распределения замеренных интервалов.

На рис. 6 приведен пример распределения длительности регулирующих импульсов при  $A = 1000$  и  $f_0 = \omega_0/2\pi = 0.01$ . Управляемый параметр задавался в диапазоне 20–80% от технологического рабочего диапазона. Результат измерения: квантование импульса регулирования (расстояние между группами в распределении) – 50 миллисекунд, минимальная длительность импульса регулирования – 95 миллисекунд.

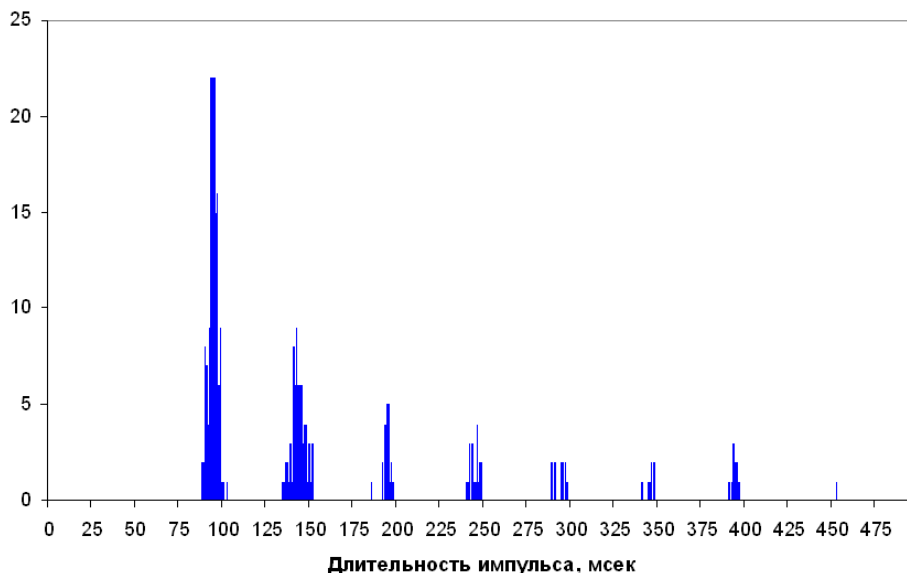


Рис. 6. Пример распределения длительности регулирующих импульсов.

### **Измерение общей задержки между установкой сигналов и их отображением на АРМ оператора**

Для измерения величины этой задержки формируемый в МС дискретный сигнал подается на дискретный вход модуля УСО, с которого на стороне ПТК

начинается тестируемая цепочка обработки входящего сигнала, представленная на рис. 7. Тестируемые каналы выбираются среди каналов ввода, задействованных в реализации технологических защит, блокировок и регуляторов.

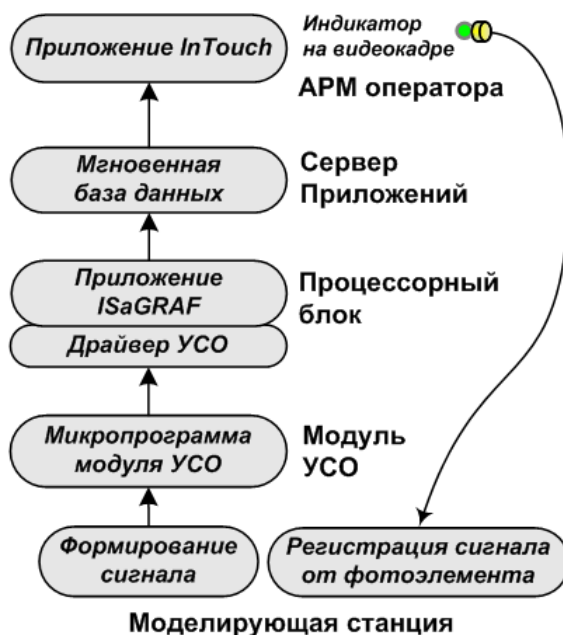


Рис. 7. Схема измерения общей задержки между установкой сигналов и их отображением на АРМ оператора.

МС изменяет состояние канала дискретного ввода в ПТК и измеряет время до изменения состояния соответствующего индикатора на экране АРМ оператора. Изменение состояния индикатора фиксируется в МС с помощью фотодиодного датчика, непосредственно подключенного к моделирующей станции. Такие измерения проводятся  $N$  раз для каналов каждого типа, и в качестве результатов приводятся значения максимального времени задержки  $t_{\max}$ .

### Заключение

Данная опробованная на практике методика позволяет получить достоверные значения для указанных в отраслевых нормативных документах параметров быстродействия ПТК для АСУТП объектов теплоэнергетики.

### Литература

1. Сердюков О.В., Нестуля Р.В., Кулагин С.А., Скворцов А.Н., Тимошин А.И., Дорошкин А.А., Сорокин И.В. Современные промышленные ПТК на базе Ethernet // Информатизация и системы управления в промышленности (ИСУП), 2011, № 1 (31). С. 21–24.
2. Сердюков О.В., Нестуля Р.В., Кулагин С.А., Скворцов А.Н., Тимошин А.И., Журавлёва Л.В., Пасеко С.М., Камочкин А.В. Опыт разработки АСУТП энергоблока ПГУ-410 Краснодарской ТЭЦ на базе программно-технического комплекса «Торнадо-N» // Теплоэнергетика, 2011, № 10. С. 20–25.
3. Сердюков О.В. Применение программно-технического комплекса «Торнадо-N» на базе Ethernet для объектов теплоэнергетики // Сборник докладов Третьей Всероссийской конференции «Реконструкция энергетики-2011» (Россия, Москва, 7–8 июня 2011). С. 88–91.