

мационные сигналы и сигналы управления подключаются к щитам управления с помощью разветвленных кабельных сетей и обязательным разграничением по типам и видам сигналов. Во время опытной эксплуатации установок было незначительно доработано программное обеспечение операторских

станций для удобства управления режимами работы установок.

В настоящее время завершаются приемосдаточные испытания Губкинской и Северо-Комсомольской УКПП. Ведутся переговоры о строительстве новых УКПП.

Сергеев Сергей Павлович – начальник НПЦ САУ,
Перевалов Вячеслав Константинович – начальник отдела, зам. начальника НПЦ САУ,
Комлык Михаил Юрьевич – начальник отдела ОАО "Сумское машиностроительное НПО им. М.В.Фрунзе".
 Контактные телефоны: (38 0542) 24-17-93, 24-31-95, 24-59-05.
 E-mail: sergeev@frunze.com.ua, perevalov@frunze.com.ua, komlik@frunze.com.ua
Захаров Николай Анатольевич – канд. техн. наук, технический директор,
Слезнев Сергей Борисович, Тимонина Наталья Николаевна – менеджеры компании **Авантек Инжиниринг**.
 Контактный телефон (095) 980-73-80. E-mail info@advantekengineering.ru

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПТК С ЦЕЛЬЮ ПРОВЕДЕНИЯ СЕРТИФИКАЦИИ

**О.В. Сердюков, А.И. Тимошин, А.Н. Скворцов (ИЦ №6 ИАиЭ СО РАН)
 А.А. Дорошкин, Ю.А. Тимиртдинов (Компания "Модульные Системы Торнадо")**

В 2004 г. компания "Модульные Системы Торнадо" (МСТ) сертифицировала ПТК "Торнадо" в системе "ЭнСЕРТИКО" на соответствие требованиям руководящей документации (РД) в энергетике. Для проведения сертификации была разработана методика определения характеристик ПТК.

Система добровольной сертификации в электроэнергетике "ЭнСЕРТИКО" создана в соответствии с законом РФ от 10.06.1993 г. №5151-1 "О сертификации продукции и услуг" и Федерального закона от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ "О техническом регулировании". Внедрение системы сертификации "ЭнСЕРТИКО" играет важную роль в повышении качества используемой в энергетике продукции, работ и услуг.

Заявка в "ЭнСЕРТИКО" была подана компанией "МСТ" в июле 2004 г., и в течение двух месяцев проводился необходимый аудит, экспертиза функциональных и технических характеристик продукции компании, а также сертификационные испытания и проверка производства ПТК "Торнадо".

Сертификационным испытаниям подлежали все составные части ПТК. Объем испытаний охватывал проверку выполнения требуемых функций, экспериментальное подтверждение параметров быстродействия и точностных характеристик, реализацию структурных методов обеспечения надежности и устойчивости ПТК к отказам.

Помимо сертификата важным результатом проделанной работы явилась разработанная методика измерений характеристик ПТК.

Роль методики в испытаниях

Очевидно, что результаты испытаний существенным образом зависят от методики и условий проведения испытаний. Типовые документы на сертификацию в системе "ЭнСЕРТИКО" регламентируют виды проводимых испытаний и условия для их проведения. При этом не предоставляется типовой методики проведения конкретных измерений характеристик

ПТК. Считается, что эти методики должны быть разработаны самим производителем ПТК. Такой подход справедлив, но только отчасти. Несмотря на то, что каждый ПТК имеет свои индивидуальные особенности, методические указания могли бы быть общими для любого ПТК – требовалась бы только конкретизация схем измерений для определенного типа ПТК.

Виды проводимых испытаний

Для проведения испытаний была разработана и создана моделирующая станция (МС), предназначенная для регистрации и формирования сигналов, имитирующих работу технологического оборудования. Кроме МС в процессе испытаний использовались измерительные приборы и дополнительное оборудование (таблица).

Таблица. Перечень используемых средств измерений и испытательного оборудования

Наименование	Примечание
Калибратор-измеритель стандартных сигналов	КИСС-03 (диапазон измерения тока 0..20 мА, напряжения 0..200 мВ, 0..10 В, класс точности при измерении и генерации тока и напряжения 0,05)
Калибратор-измеритель унифицированных сигналов	ИКСУ-2000 (диапазон измерения тока 0..25 мА, напряжения 0..60 мВ, 0..120 В, сопротивления 0..320 Ом, класс точности при измерении и генерации тока, напряжения и сопротивления 0,02)
Мегомметр	M4100/4 (класс точности 1,0)
Магазин сопротивлений	P4831 (диапазон измерения 11111,1 Ом, класс точности 0,02)
Гигрометр психрометрический	ВИТ-1 (диапазон измерения относительной влажности 20..90%, температуры 0..25°C)
ПЭВМ	IBM PC Pentium I, II ОЗУ - 16 Мб, HDD - 850 Мб
Цифровой осциллограф	Tektronix TDS 210
Манипулятор	Манипулятор типа "мышь" с выходом электрического сигнала нажатия левой кнопки
Фотодатчик	

Сертификация - это кристаллизация программно-технических решений...

Журнал "Автоматизация в промышленности"

В качестве образца ПТК для сертификационных испытаний на соответствие требованиям РД 153-34.1-35.127-2002 и других нормативных документов был использован ПТК "Торнадо-М", предназначенный для АСУТП паровой турбины ПТ-110-130 с объемом более 1300 каналов контроля и управления. Все испытания проводились на полигоне компании "МСТ" при полном функционировании ПТК со всеми прикладными программами управления и имитацией потока событий в несколько раз превосходящий базовый поток, возникающий на реальном объекте.

Время опроса дискретных сигналов проводилось на установке, показанной на рис. 1. Условия испытания: дискретный сигнал, формируемый МС, подается на дискретный вход тестируемого технологического контроллера ПТК, а оттуда сигнал заводится на дискретный вход МС. Входы/выходы МС управляются модулем таймерной обработки сигналов РВ-ТРУ (мезонинный submodule РВ-ТРУ, выполненный в стандарте MODPACK, является таймерным процессорным устройством на базе микроконтроллера МС68332 со встроенным 16-канальным таймерным RISC процессором ТРУ, основным назначением которого является функциональный контроль и управление дискретными сигналами для каналов с заданными временными диаграммами).

Принцип измерения времени опроса состоит в периодической подаче импульса переменной длительности на вход контроллера и отслеживании факта его регистрации. Измерения и получение результата проводятся по набору статистики и построению графика, отражающего зависимость относительного числа регистрируемых импульсов от их длительности (рис. 2). При длительности импульсов меньшей времени опроса, такая зависимость должна быть возрастающей, а при увеличении длительности импульсов — равна единице.

Алгоритм измерения строится следующим образом. Программа МС формирует на дискретном входе ПТК импульс длительностью t_i (i — номер импульса), и ожидает отклик на дискретном входе. В ПТК технологическая программа ретранслирует состояние входа на выход, подключенный к МС. Если через время t_{max} МС дождалась отклика, то отмечается факт регистрации импульса. Из числа N таких циклов вычисляется относительное число зарегистрированных импульсов по формуле:

$$n_i = N_i / N, \quad i = 1, m, \quad (1)$$

где, m — общее число импульсов, N_i — число зарегистрированных импульсов длительностью t_i . По получен-

ным данным строится график $n_i(t_i)$. Время, при котором возрастающая зависимость переходит в постоянную зависимость t_d , является результатом измерения.

Время опроса аналоговых сигналов измеряется аналогично времени опроса дискретных сигналов. Импульсный аналоговый сигнал формируется с помощью цифроаналогового модуля РВ-DAC3 так, что величина напряжения может принимать значения 0 и U , попадающие в диапазон измеряемых напряжений тестируемого аналогового входа. С дискретного выхода ПТК сигнал заводится на дискретный вход МС (рис. 3).

Принцип измерения времени опроса состоит в периодической подаче аналогового импульса переменной длительности на вход контроллера и отслеживании факта его регистрации, т.е. факта, когда при разовом измерении получается величина, попадающая в заданную окрестность ожидаемого значения. Измерения и получение результата проводятся по набору статистики и построению графика, отражающего зависимость относительного числа регистрируемых импульсов от их длительности (рис. 2). При длительности импульсов меньшей времени опроса зависимость должна быть возрастающей, а для длительности большей времени опроса — относительное число регистрируемых импульсов должно быть равно единице, т.е. все такие импульсы будут регистрироваться контроллером.

Исходя из предложенного принципа, алгоритм измерения строится следующим образом. Программа МС формирует на аналоговом входе ПТК импульс отрицательной формы ($U \rightarrow 0 \rightarrow U$) длительностью t_i и ожидает отклик на своем дискретном входе от ПТК, в котором технологическая программа устанавливает логический сигнал по результату сравнения аналогового сигнала с заданным уровнем U_0 . Если через время t_{max} МС дождалась отклика, то отмечается факт регистрации импульса. Из числа N таких циклов вычисляется относительное число зарегистрированных импульсов по формуле (1) и строится график $n_i(t_i)$. Время, когда возрастающая зависимость переходит в постоянную зависимость, является результатом измерения.

Дискретность и точность привязки меток времени к событиям при регистрации и сохранении в архиве системы. Измерения проводятся на установке (рис. 4) как для дискретных каналов, так и для аналоговых. МС генерирует сигнал типа меандр переменной частоты. ПТК, воспринимая изменения уровней на входе, фиксирует эти изменения в БД с метками времени $t_1, t_2, \dots, t_n, t_{n+1}, \dots$. Такой массив временных меток, полученных от сигнала с периодом, меняющимся по закону: $T_n = T_0 + \tau \times n$, для $n = 0, 1, \dots, T_{max}/\tau$, где n — номер меандра, τ — шаг приращения периода, T_0, T_{max} — минимальный и

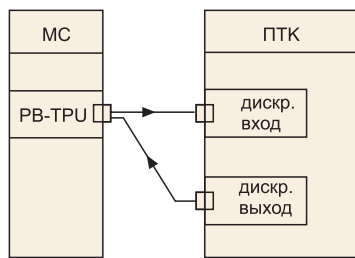


Рис. 1

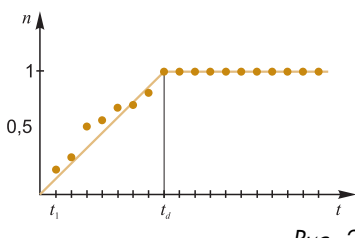


Рис. 2

максимальный период сигнала, используется для анализа их дискретности и точности. Для этого составляется таблица значений: $\Delta t_1 = t_2 - t_1$, $\Delta t_2 = t_3 - t_2$, ... и строится гистограмма распределения по Δt_n с размером бина не менее шага t . При отсутствии дискретности временных меток полученное распределение будет равномерным, иначе в распределении будут наблюдаться группы, равноотстоящие друг от друга (рис. 5). По расстоянию между группами определяется время дискретизации T_D , а по ширине группы – точность фиксируемых временных меток T_E .

Время полной смены видеокadra измерялось с помощью фотодатчика (ФД), манипулятора типа "мышь" (ММ), имеющего выход сигнала нажатия левой кнопки, и двухканального осциллографа. Один канал осциллографа был подключен к выходу сигнала нажатия клавиши, второй канал – к ФД. Использовались заранее подготовленные видеокadры с дополнительной визуальной зоной, имеющей чередующийся от кадра к кадру черный и белый цвет. Команда смены кадра выдается по нажатию кнопки ММ и фиксируется по развертке осциллографа на первом канале. Конец смены кадра фиксируется по второму каналу осциллографа от ФД, который размещается вблизи дополнительной визуальной зоны. Время полной смены кадра измеряется по задержке от команды до сигнала смены освещенности ФД. В качестве результатов выбиралось максимальное и минимальное время из серии измерений.

Цикл обновления видеокadra. Использовался заранее подготовленный тестовый алгоритм, меняющий состояние элемента видеокadra с черного на белый цвет по команде манипулятора рабочей станции ПТК. С помощью осциллографа фиксировалось время задержки от нажатия кнопки ММ до полной смены цвета элемента. В качестве результата испытаний анализировалась оценка верхней границы $t < t_{max}$, где t_{max} – наибольшее значение из серии измерений.

Общая задержка в передаче информации по дискретным каналам технологических защит, блокировок и регулирования. Измерение общей задержки проводилось с использованием установки, представленной на рис. 1, дискретные входы/выходы контроллера ПТК выбирались среди каналов технологи-

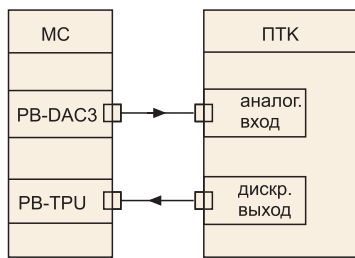


Рис. 3

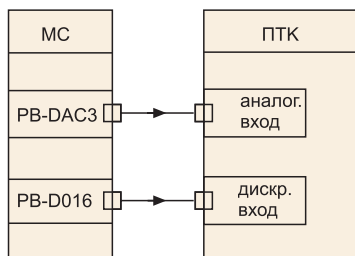


Рис. 4

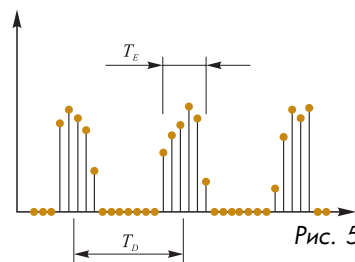


Рис. 5

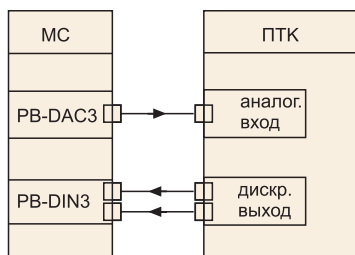


Рис. 6

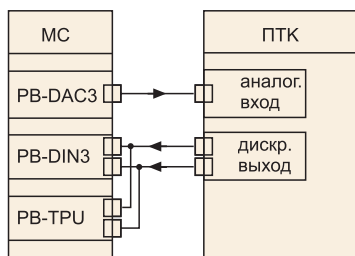


Рис. 7

ческих защит, регулирования и блокировок. МС изменяет состояние дискретного входа канала ПТК и измеряет время до изменения состояния выходного канала t_n . Такие измерения проводились заданное число раз по каждому типу каналов и в качестве результатов использовались значения максимального времени задержки t_{max} .

Общая задержка в цепях аналогового регулирования измерялась с использованием установки, показанной на рис. 6. Аналоговый вход цепи регулирования контроллера ПТК подключался к аналоговому выходу МС, а два сигнала с дискретных выходов управляющего сигнала ПТК подавались на вход МС. Измерения проводились 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 $U_A \pm \Delta$, $U_B \pm \Delta$, $U_C \pm \Delta$ технологическая программа ПТК на дискретных выходах формировала кодовую комбинацию, соответствующую уровням сигналов для: А – 01, В – 10 и С – 11. Измерительная программа на МС поочередно устанавливала один из уровней аналогового сигнала и проводила измерения времени задержки прихода ожидаемой комбинации на дискретных линиях. Из полученной серии результатов измерений подводился итог, выбранный из максимального времени t_{max} .

Время квантования импульса регулирования и его длительность. Для измерения указанных характеристик в цепях авторегулирования к ПТК подключается эмулятор объекта регулирования, реализованный на МС (рис. 7). Вход параметра регулирования подключается к аналоговому выходу МС, а дискретные сигналы воздействия положительной и отрицательной фазы с выхода ПТК – на дискретные входы МС и одновременно к модулю для измерения временных интервалов PB-TPU.

На МС запускается 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:

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

где v_+ , v_- – входное воздействие, принимающее значение 0 или 1 при положительной и отрицательной фазе сигналов на дискретных входах; Y – регулируемая величина; ω_0 и A – параметры, определяющие свойства объекта. Программа выполняется в масштабе РВ с шагом времени Δ , много меньшим длительности цикла регулирования.

Одновременно с выполнением программы эмуляции на МС ведется подсчет длительности импульсов регулирования для положительной и отрицательной фазы, а также накопление результатов в форме гистограммного распределения. При этом для обеспечения необходимого диапазона длительности импульсов в моделирующей программе искусственно вносятся периодические возмущения на регулируемую величину. Результат измерения строится на основании полученного распределения замеренных интервалов аналогично исследованию дискретности и точности привязки меток времени к событиям при регистрации и сохранении в архиве системы.

Цикл регулирования. Использовалась установка для измерения цикла регулирования – эмулятор объекта регулирования (рис. 7). Программа МС помимо эмуляции объекта с возмущениями дополняется средством, позволяющим фиксировать моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_n, t_{n+1}, \dots$, когда ширина управляющих импульсов меняется на величину большую или равную времени квантования, измеренного в ходе испытаний. Так как длительность управляющих импульсов может быть изменена не быстрее, чем за один цикл регулирования, то по минимальному интервалу $t_{n+1} - t_n$ определяется длительность цикла регулирования.

Задержка представления аварийных сигналов (рис. 8). На дискретный вход из аварийной группы сигналов ПТК подается сигнал, эмулирующий аварийную ситуацию. Прохождение сигнала отображается на элементе видеокadra изменением цвета с черного на белый и регистрируется ФД. Время задержки представления сигнала на мониторе измеряется двухканальным осциллографом, подключенным к входу ПТК и к ФД. Результат оценивался по наибольшему значению времени задержки из серии измерений.

Задержка в передаче командных сигналов в цепях дистанционного управления (ДУ) измеряется с помощью ММ и двухканального осциллографа. Один канал осциллографа подключается к выходу сигнала нажатия кнопки ММ, второй канал – к дискретному выходу ПТК. Команда ДУ выдается по нажатию кнопки ММ и фиксируется по развертке осциллографа на первом канале. Изменение выходного напряжения на соответствующем дискретном выходе ПТК фиксируется по второму каналу осциллографа. Время задержки измеряется. В качестве результата выбиралось максимальное время.

Среднее время передачи команды и получения подтверждения в цепях ДУ оценивается с помощью ФД,

ММ и двухканального осциллографа. Один канал осциллографа подключается к выходу сигнала нажатия кнопки ММ, второй канал – к ФД. Использовались подготовленные видеокadры с дополнительной визуальной зоной, которая изменяет цвет с черного на белый в зависимости от поступившей команды. Команда ДУ выдается по нажатию кнопки ММ и фиксируется по развертке осциллографа на первом канале. Факт изменения изображения фиксируется по второму каналу от ФД, который размещается вблизи дополнительной визуальной зоны. Время измеряется по задержке от команды до сигнала смены освещенности ФД. Из серии измерений в качестве результата оценивалось среднестатистическое время.

Погрешность измерения технологических параметров определялась в соответствии с документом 4252-001-50756329-02 ПМ "Методика поверки (калибровки) измерительных каналов АСУТП на базе ПТК "Торнадо", утвержденной Госстандартом РФ. При этом использовалось специализированное программное обеспечение "АРМ метролога", позволяющее выполнять калибровку в автоматизированном режиме, и средства измерений для подачи эталонных сигналов, перечень которых приведен в таблице. Погрешность измерительных каналов фиксируется в протоколах и сертификатах о калибровке, формируемых автоматически программой "АРМ метролога".

Отображение значений технологических параметров в цифровом виде. Средствами системы технологического программирования ISaGRAF задаются значения технологических параметров, и проверяется число

значащих цифр в отображении этих параметров на экране АРМ оператора-технолога.

Точность регистрации значений технологических параметров в архиве проверяется с помощью средства ISaGRAF и датчиков эталонных сигналов. В течение заданного времени на аналоговые входы ПТК подаются сигналы, периодически меняющие свои значения в заданном диапазоне на величину, превышающую апертуру. Значения параметров, записанные в архив, сравниваются со значениями входных сигналов. По окончании испытания проводится проверка точности построения графиков.

Точность построения графиков изменения соответствующих аналоговых параметров заключается в выводе их на экран АРМ оператора-технолога и анализе "читаемость" результатов.

Точность задания коэффициентов и уставок сигнализации. Значения уставок сигнализации и диапазоны изменения параметров определяются из конфигурационной БД АСУТП. Погрешность задания уставок рассчитывается по формуле:

$$\delta = \frac{a}{D} \cdot 100\%,$$

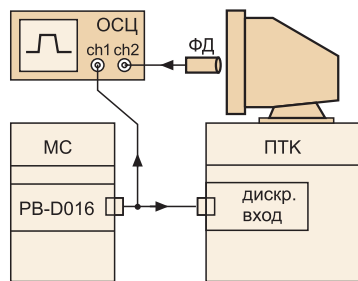


Рис. 8

где a – значение уставки; D – диапазон изменения параметра.

Для проверки отображения действующих значений технологических параметров и признаков недостоверности на аналоговые входы ПТК подаются соответствующие сигналы (с помощью средств ISaGRAF и дополнительно по электрическим цепям от задатчиков эталонных сигналов). Учитывается визуальный контроль изменений на видеокдрах.

Выводы

По разработанной методике были проведены сертификационные испытания ПТК "Торнадо" и признано его соответствие требованиям норматив-

Сердюков Олег Викторович – канд. техн. наук, руководитель, Скворцов Алексей Николаевич – аспирант, Тимошин Александр Иванович – научный сотрудник, ведущий инженер Инженерного центра № 6 Института Автоматики и Электроники СО РАН, Дорошкин Александр Владимирович – ведущий инженер, Тимиртдинов Юрий Анатольевич – инженер программист компании "Модульные Системы Торнадо".

Контактный телефон (3832) 39-93-52.

E-mail: info@tornado.nsk.ru [Http://www.tornado.nsk.ru](http://www.tornado.nsk.ru)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КАСКАДНЫХ АСР

**В.П. Плютто, И.И. Дубровский, В.Л. Лукьянов,
В.И. Дубровский (РХТУ им. Д.И. Менделеева)**

Исследованы каскадные автоматические системы регулирования (АСР), которые наиболее широко используются среди многоконтурных систем управления. Эффективность каскадных АСР зависит от выбора оптимальных параметров настройки регуляторов как основного, так и вспомогательного контура. Последующее моделирование на ПК каскадной АСР позволяет выйти на заданные критерии качества регулирования на стадии проектирования.

Наиболее распространенной АСР с усложненной структурной схемой является каскадная система. Каскадные системы могут быть использованы для улучшения качества регулирования в том случае, если в объекте помимо основной регулируемой величины x имеется вспомогательная величина x_1 , которая имеет меньшее значение запаздывания и инерционности по отношению к основным возмущениям объекта и регулирующему воздействию, чем основная регулируемая величина x . Этот принцип обеспечивает более высокое быстродействие работы вспомогательного регулятора $1P$ сравнительно с основным регулятором P .

Важно отметить, что при этом вспомогательная величина x_1 неоднозначно определяет протекание ТП и не позволяет исключить из контура регулирования основную регулируемую величину x .

В качестве объекта исследований была выбрана ректификационная колонна, у которой необходимо поддерживать заданный состав кубового продукта за счет целенаправленного изменения расхода пара, поступающего в кипятильник – объект регулирования. Задача АСР по стабилизации состава кубового продукта сводится к обеспечению постоянной температуры в нижней части колонны. Возмущающими воздействиями являются: давление пара, расход, температура, теплоемкость исходной смеси, состояние поверхности теплообменника и др.

Исходя из конкретных условий работы теплообменника было установлено, что основным возмущением (по величине и частоте возникновения) является давление пара. Компенсировать колебания давления пара (а, следовательно, колебания температуры насыщенного пара) можно с помощью регулятора давления. Объектом регулирования такой АСР является небольшой участок паропровода, имеющий запаздывание $\tau = 0,5 - 1$ с и постоянную времени $T = 2 - 3$ с, что обеспечивает регулятору давления очень высокое быстродействие и, следовательно, хорошее качество регулирования давления пара.

Но регулятор давления не компенсирует прочие возмущения. Поэтому для компенсации прочих возмущений необходимо предусмотреть регулятор температуры. Объектом регулирования АСР температуры является кипятильник, имеющий значительно худшие динамические характеристики, чем отрезок трубопровода АСР давления. Промышленные теплообменники имеют запаздывание $\tau = 25 - 30$ с и постоянную времени $T = 100 - 150$ с. Такие характеристики объекта регулирования не позволяют получить качество регулирования, как в АСР давления. Но, как уже отмечалось выше, прочие возмущения относительно небольшие по величине и нечастые. Поэтому АСР температуры обычно обеспечивает требуемое качество регулирования путем изменения количества подаваемого пара.