

ТЕПЛОСЧЕТЧИК ДЛЯ АСКУЭ, ИНТЕГРИРОВАННОЙ В АСУ ТП ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

©2011 В. В. Бирюк¹, Г. И. Леонович¹, Н. А. Ливочкина²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

²Государственный научно-производственный ракетно-космический центр «ЦСКБ - Прогресс»

Современные счетчики могут хранить данные за период времени до года и/или передавать по каналам связи в автоматизированные системы контроля и учета энергопотребления, которые на современных промышленных предприятиях интегрируются в общую автоматизированную систему технологическими процессами производства. Помимо поддержания бесперебойного цикла работ АСУ ТП должна обладать высокой степенью информационной безопасности.

Учет энергопотребления, автоматизированная система, производство, информационная безопасность.

Теплосчетчиками (ТС) на промпредприятиях нашей страны принято измерять не только тепловую энергию, потребленную на отопление, как это принято во всем мире, но и тепловую энергию, потребленную на подогрев горячей воды в централизованных циркуляционных системах ГВС, разобранную горячую воду из системы ГВС, а также разобранную холодную воду из системы ХВС. В состав ТС может входить до пяти преобразователей расхода, один или два на отопление (второй для контроля первого и контроля несанкционированного разбора теплоносителя), один или два на ГВС (один при тупиковой системе ГВС, два при циркуляционной) и один на тупиковую систему ХВС. Также в состав ТС входят два комплекта термопреобразователей - для измерения разности температур в системе отопления и циркуляционной системе ГВС. Иногда дополнительно устанавливаются преобразователи избыточного давления. В результате ТС содержит более десятка преобразователей (датчиков). Использование такой сложной измерительной системы, учитывая возможные проблемы метрологического качества и эксплуатационной надежности преобразователей, качество их монтажа, а также нередко несоответствие режимов ресурсоснабжения расчетным, во многих случаях приводит к тому, что ТС часто показывает результаты измерений, отличные от ожидаемых [1-5].

Технически серийно выпускаемые ТС различаются по методу измерения расхода теплоносителя:

- с расходомерами переменного перепада давления (метод устарел и применяется крайне редко);

- с крыльчатými (турбинными) расходомерами (наиболее дешевые, но имеют ряд характерных недостатков);

- с ультразвуковыми расходомерами (одни из самых точных и надежных);

- с электромагнитными расходомерами (по качеству находятся приблизительно на одной ступени с ультразвуковыми).

В перспективе предполагается выпуск расходомеров, основанных на лазерной доплеровской интерферометрии, которые в настоящее время начинают использоваться в качестве средств метрологического обеспечения поверки других расходомеров. Их основные достоинства: высокая точность и широкий диапазон измерений скорости (до 0,5 % в диапазоне от 10^{-3} до 10^3 м/с), помехоустойчивость, отсутствие контакта с контролируемой средой.

Для измерения температуры используются стандартные термометры сопротивления.

Современные счетчики могут хранить данные за период времени до года и/или передавать по каналам связи в автоматизированные системы контроля и учета энергопотребления (АСКУЭ), которые на современных промышленных предприятиях интегрируются в общую автоматизированную систему технологическими процессами производства (АСУ ТП, SCADA). Помимо поддержания бесперебойного цикла работ АСУ

ТП должна обладать высокой степенью информационной безопасности [6-9].

С целью повышения эффективности, надежности и информационной безопасности ТС в составе АСУ ТП необходимо решать две основные задачи:

1) иметь точные данные о состоянии ключевых элементов, чтобы принять решение об исправности ТС и достоверности выдаваемой информации для организации последующих мероприятий;

2) обеспечить защиту физических и виртуальных каналов передачи данных от датчиков к вычислителю и далее к серверу АСУ ТП, а также команд управления в обратном направлении.

Для успешного решения первой задачи требуется:

- наличие дополнительных сенсоров или функций, позволяющих определить исправность и достоверность данных от датчиков (расхода, давления, температуры);

- наличие цепей и функций встроенного контроля тепловычислителя (ТВ);

- оснащение интерфейсами датчиков и ТВ, позволяющими осуществлять функциональное резервирование компонентов ТС другими устройствами АСУ ТП.

Ряд известных приборов имеет или позволяет ввести в них встроенную систему контроля вплоть до уровня полевой сети датчиков [2]. Схемные решения в других ТС обеспечивают извлечение требуемой информации путем анализа косвенных параметров. В отличие от непосредственно измеряемых величин, погрешность которых однозначно определяется погрешностью измерительного тракта, определение точности расчетных параметров (по некоторой формуле, увязывающей косвенные параметры с интересующей характеристикой), является, как правило, сложной вычислительной задачей.

На точность формально вычисляемых параметров оказывают влияние три основных фактора [1]:

- погрешности первичных измерительных преобразователей, устройств вторичного преобразования и сопряжения, аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей, устройств телеметрии, коммутаторов, мультимплексоров и демультимплексоров и т.д.;

- вычислительные погрешности, связанные с погрешностью представления исходных данных в ЭВМ, погрешности округления результатов математических операций;

- апертурные погрешности, обусловленные асинхронностью съема измеряемых параметров и различным временем первичной обработки этих параметров до поступления на ЭВМ.

Существуют универсальные методики, позволяющие после небольших доработок осуществить единообразное описание и учет непосредственно и косвенно (расчетным путем) описание измеренных параметров [1,5].

В работах [2, 4] анализировались результаты измерений массы воды, потребляемой на ГВС, различных типов ТС. Выявлено систематическое занижение результатов косвенных (по разности расходов в подающем и обратном трубопроводе) относительно непосредственных измерений массы воды, потребляемой на ГВС в системе с открытым водоразбором. Поскольку температура воды в подающем трубопроводе всегда больше, то и ее влияние на результаты измерений массы воды в нем всегда более существенно (в сторону занижения), чем в обратном трубопроводе.

В частности, материал преобразователя, образующий проходное отверстие, с ростом температуры расширяется, что, как правило, никак не регламентировано в документации на преобразователи. Если это нержавеющая сталь со средним коэффициентом линейного расширения $1,65 \cdot 10^{-5}$, то увеличение сечения составит $0,0033\%$ на 1°C , но это $0,33\%$ на 100°C повышения температуры. Следовательно, при одной и той же массе результаты измерений объема будут соответственно занижаться. Если рассмотреть электромагнитные преобразователи с футеровкой, например из фторопласта, то результаты влияния температуры на фактор площади могут быть еще более внушительными.

Влияние температуры на скорость потока имеет свои особенности для различных типов расходомеров.

1. Механические расходомеры: с ростом температуры увеличивается трение в подшипниках, что замедляет скорость вращения подвижных элементов.

2. Электромагнитные расходомеры: относительное увеличение сопротивления меди катушки магнитной системы составляет порядка 0,4 % на 1°C.

3. Ультразвуковые расходомеры: два фактора - изменение скорости ультразвука в воде и изменение вязкости воды при изменении ее температуры.

4. Вихревые расходомеры: изменение геометрии тела обтекания и изменение вязкости воды при изменении ее температуры. И тот и другой факторы влияют на процесс вихреобразования. Кроме того, здесь определяется средняя скорость по диаметру, а не по сечению.

Для решения задачи повышения точности необходимо либо внедрить температурную автокоррекцию, либо вносить поправки в результаты измерений по результатам контроля. Некоторые ТВ (например, ВКТ-5 и ВКТ-7) дают возможность автоматически учитывать поправки на температурное влияние.

Успешному решению второй задачи – информационной безопасности - посвящено множество трудов, ориентированных на корпоративные сети, и очень незначительно число исследований - на сети полевого уровня.

Для корпоративных сетей, подключаемых к Internet или использующих беспроводные технологии передачи данных, эффективными способами защиты (кроме полной изоляции) являются [4, 7]:

- межсетевые экраны;
- применение технологии VPN;
- сегментирование сети и использование буферных участков;
- многуровневая идентификация и аутентификация.

В сложноструктурированных сетях крупных предприятий необходимо учитывать потенциальные угрозы от внутренних компонент корпоративной интегрированной информационной системы. Таким образом, следует разграничивать сеть АСУ ТП от остальных сегментов локальной сети посредством использования дополнительных межсетевых экранов или специализированных серверов в качестве шлюзов, имеющих исключительное право на взаимодействие с сетью АСУ ТП, что позволит предотвратить доступ внешних программных средств.

Минимизировать вероятность реализации угроз и информационные риски можно за счет более простой архитектуры сети, уменьшения количества сегментов, связываемых друг с другом. Также следует организовывать минимально необходимое число точек удаленного доступа и непосредственного взаимодействия АСКУЭ с элементами и оборудованием АСУ ТП. В случае применения модемного соединения целесообразно предоставлять централизованный доступ с возможностью аутентификации и автоматической регистрации действий абонентов.

Из физических каналов наименее подвержены опасности несанкционированного доступа волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) [9, 11]. Это предопределяет поиск новых схемотехнических решений на уровне полевой сети, в частности, применение датчиков и контроллеров (вычислителей) с волоконно-оптическим интерфейсом (ВОИ). При этом наиболее перспективны волоконно-оптические датчики (ВОД) расхода и температуры с закрытым оптическим каналом [13, 14]. Любое подключение к ВОЛС возможно идентифицировать как наличие канала утечки. В работах [10, 11] предложены методы защиты ВОЛС, основанные на передаче по световодам отдельных фотонов. В частности, для передачи информации используется лазер, генерирующий сверхкороткие (пикосекундные) импульсы, содержащие один фотон в состоянии линейной или круговой поляризации. В этом случае практически отсутствует возможность несанкционированного ответвления от канала.

Пример ТС на трех ВОД, решающего две вышеуказанные задачи в составе АСКУЭ, интегрированной в АСУ ТП, представлен на рис. 1 [12]. ТС оснащен основными и резервными датчиками, волоконно-оптическими каналами передачи информации, элементами встроенного контроля. Тепловычислитель подключен к аналогичным датчикам, относящимся к другим подсистемам АСУ ТП, что позволяет поддерживать требуемую работоспособность счетчика при выходе из строя собственных периферийных чувствительных элементов или каналов связи. При отказе ТВ датчики подключаются к резервному контроллеру АСУ ТП, который конфигурируется с сервера под решение

конкретной задачи. Для визуализации показаний ТС может комплектоваться встроенным дисплеем или подключаться к удаленному ПК через интерфейсы RS-232 или USB, радиointерфейсы Bluetooth (IEEE 80215) или WiFi (IEEE 80211).

Особенностью ТС является использование ВОД давления и температуры, а также типового времяимпульсного ультразвукового расходомера в сочетании с волоконно-оптическим датчиком ультразвуковых колебаний. Все датчики имеют закрытый оптический канал.

Датчики с закрытым каналом базируются на рециркуляционном принципе. Часть контура рециркуляции – оптическая, часть – электрическая. В системе используются лавинные фотодиоды или PIN-фотодиоды. Основной причиной изменения

оптического пути, т. е. периода и частоты рециркуляции сигнала, является изменение коэффициента преломления и удлинение сенсорного участка ОВ вследствие воздействия измеряемого параметра на волокно или нанесенное на него редуцирующее покрытие. Структура позволяет вводить опорный канал, реализовывать дифференциальные измерительные схемы, формировать сложные оптические контуры с волновым мультиплексированием для измерений разных величин, использовать отрезки специальных ОВ в качестве сенсоров и др. В результате возможно достижение высокой стабильности измерений, разрешающей способности, зависящей от ширины импульса и длины ОВ, большого динамического диапазона, определяемого коэффициентом деформации волоконно-оптического световода (ВОС).

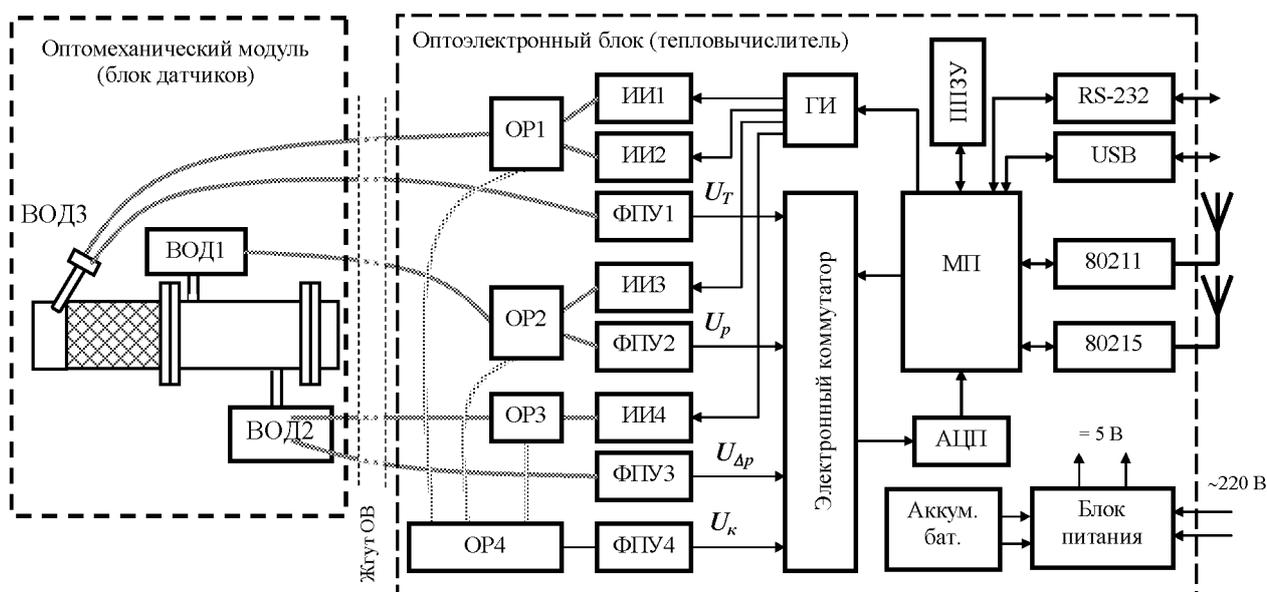


Рис. 1. Структурная схема теплосчетчика (вариант на 3 датчика):
 ГИ - генератор импульсов; ИИ - источник излучения; ФПУ - фотоприемное устройство;
 ОП - оптический разделитель; МП - микропроцессор

Для формирования мультисенсорной сети наиболее эффективным представляется спектрально-временное разделение ВОС в общем контуре рециркуляции (рис.2). Каждый измерительный контур по параметру α_i функционирует на индивидуальной длине волны λ_i (наборе волн), для чего сформирован блок источников излучения (БИИ), согласованных с узкополосными интерференционными фильтрами (УИС) сенсоров. Для надежного разделения импульсов во времени между ВОС вводятся оптические линии за-

держки (ЛЗ). Задержанные на разное время импульсы через оптический демультиплексор (ОДМ) направляются на фотоприемное устройство (ФПУ), с выхода которого электрические импульсы через коммутатор и пороговое устройство (ПУ) поступают на цифровые частотомеры (ЦЧМ) и формирователь импульсов (ФИ) для соответствующих источников излучения. В контроллере формируются цифровые коды измеряемых величин. Такая структура позволяет формировать

высоконадежные полевые сети, измеряющие разнообразные физические величины.

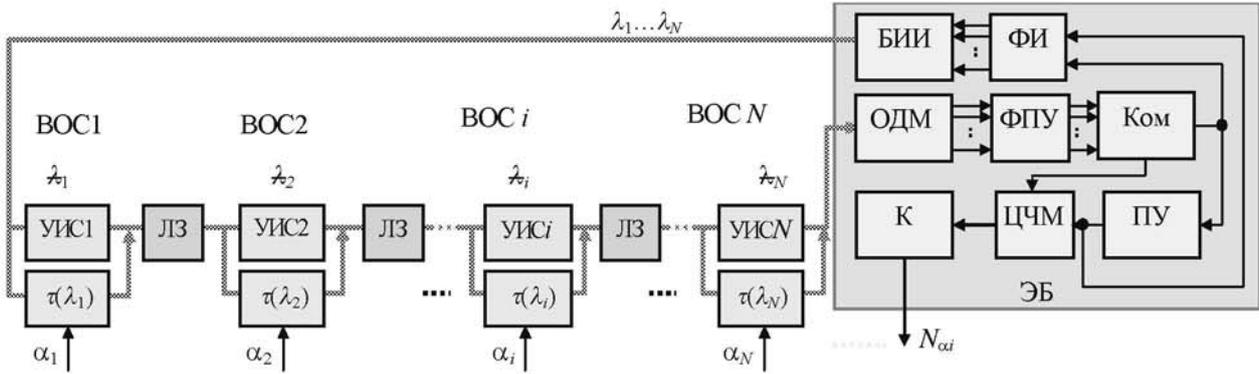


Рис. 2. Рециркуляционная мультисенсорная структура на основе ВОД с закрытым оптическим каналом

Применение оптического волокна для передачи сигналов изначально предполагает функциональное резервирование каналов для последовательно-параллельного соединения сенсоров, функционирующих в различных участках спектра светового потока осветителя. Это означает, что в спектре имеется ряд резервных поддиапазонов и каналов, которые могут использоваться для снятия информации от двух и более идентичных сенсоров, обслуживающих один ТС.

Типовые ультразвуковые расходомеры имеют в своем составе пьезоэлемент, формирующий и воспринимающий отраженную

в потоке жидкости акустическую волну частотой от 100 кГц до 20МГц. При этом регистрируются изменения параметров сигнала, вызываемые потоком. Пьезоэлемент может устанавливаться как в непосредственном контакте со средой, так и на стенке трубы (накладные расходомеры). Согласно рис.3 ультразвук распространяется под углом α к стенкам трубы в осевом сечении, скорость его равна V_0 и расстояние между электроакустическими преобразователями равно l .

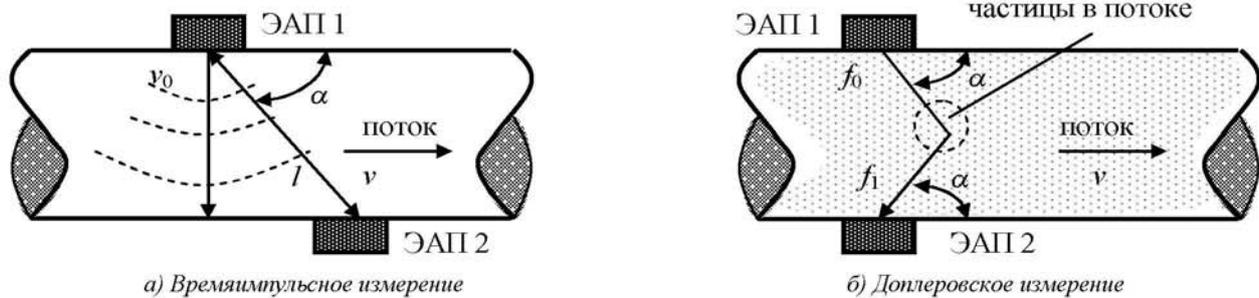


Рис. 3. Типы ультразвукового измерения расхода теплоносителя

Тогда при появлении потока скоростью v разница между временем прохождения сигнала в разные стороны составляет (временнй импульсный метод, рис.3,а):

$$\Delta t = \frac{l}{V_0 - \Delta V} - \frac{l}{V_0 + \Delta V}, \quad (1)$$

где $\Delta V = \frac{v}{\sin \alpha}$.

Измерение разности времен, проводимое в интервалах времени, измеряемых микросекундами, позволяет вычислить скорость потока.

Доплеровское измерение (рис. 3,б) использует эффект изменения частоты волны при её отражении от движущегося объекта. В случае потока газа или жидкости отражающими объектами служат примеси или участки с измененной плотностью (пузырьки воздуха).

Если измеряющий луч распространяется в потоке под углом α со скоростью V и частотой f_0 , то при отражении звука от частиц примесей, находящихся в потоке скорости v , частота звука изменяется: если поток движется навстречу лучу, то частота увели-

чивается, если против луча - уменьшается в соответствии с формулой

$$f_i = f_0 \frac{1}{1 \pm \frac{v}{V \sin \alpha}} \quad (2)$$

Измерение частоты отражённого сигнала позволяет вычислить скорость потока. Если при импульсном измерении наличие инородных частиц и пузырьков нежелательно, так как они рассеивают измерительный луч, то доплеровский тип, наоборот, требует наличия примесей и пузырьков. Некоторые современные расходомеры совмещают в себе оба типа измерения, расширяя, таким образом, диапазон применения.

Приёмник и передатчик образуют измерительный луч. В большинстве ультразвуковых расходомеров реализовано несколько измерительных лучей (до восьми). Многолучевое измерение потока даёт возможность корректировать показания, а также проводить самодиагностику.

Вместо воспринимающего пьезоэлемента в представленном расходомере используется ВОД в форме овальной катушки из нескольких десятков оптических волокон. Внутренний слой витков соприкасается со стенкой трубопровода. Внешний слой - опорный, который предназначен для реализации дифференциального метода измерения.

Под действием механических деформаций ОБ, переносимых звуковой волной с частотой f_a , возникает пространственная модуляция оптических свойств среды, обусловленная упругооптическим, или фотоупругим, эффектом [14].

В результате в сердцевине и оболочке происходит формирование участков с измененными значениями коэффициента преломления:

$$n_{1a} = n_1 \left[1 + k_1 A \sin(2\pi f_a + \phi_a) \right]; \quad (3)$$

$$n_{2a} = n_2 \left[1 + k_2 A \sin(2\pi f_a + \phi_a) \right],$$

где A - амплитуда (мощность) акустической волны; k_1, k_2 - коэффициенты преобразования амплитуды акустической волны в изменение коэффициента преломления материала сердцевины (n_{1a}) и оболочки (n_{2a}) ОБ, ϕ_a - фаза акустической волны.

Изменение коэффициента преломления ведет к изменению частоты рециркуляции импульсов, что в конечном итоге позволяет оценить скорость потока теплоносителя.

Введение нескольких ВОД ультразвуковых колебаний помимо определения скорости потока теплоносителя позволяет осуществлять контроль состояния трубопровода на предмет локализации мест развития каверн и трещин (метод акустического нагружения) [15].

Библиографический список

1. Дубинский, М. Повышение энергоэффективности в промышленности / М. Дубинский <http://www.abok.ru/>.
2. Исследование рынка теплосчетчиков. <http://www.businessmonitor.ru>.
3. Егоров, В.А. АСКУЭ современного предприятия / В.А. Егоров <http://www.izmerenie.ru>.
4. Эволюция SCADA: от телеметрических приложений до корпоративных систем. [Текст] <http://www.tsoft.ru/ru/press/article/index.php?id4=872>.
5. Учет энергозатрат в процессе планирования на цеховом уровне [Текст] <http://www.case.korusconsulting.ru/>.
6. Understanding SCADA system security vulnerabilities, Riptech, Inc. 2001 January.
7. Астахов, А. Реалии и мифы кибертерроризма [Текст] / Астахов А. Открытые Системы -2003. -№ 5
8. Abhishek Bhattacharjee, Stephen Flannigan, Jens Nasholm SCADA System Security // www.automation.com/sitepages/pid1608.php.
9. Quantum Cryptography // Photonics Spectra. 1994. V.28. № 9. P. 4850.
10. Fietcher P. Light pulses sent over optical fibers creat "Invulnerable" encryption//Electron Des. 1995. V.43. № 26. P. 3840
11. <http://www.opticalfibersensors.org/>.
12. Бирюк, В.В. Промышленный теплосчетчик на основе волоконно-оптических датчиков физических величин [Текст] / В.В. Бирюк, Г.И. Леонович, С.А. Надешкин // Информационный вестник Самарской области Энергосбережение, №10 - Самара, 2008. - С. 24-30.
13. Мультисенсорные волоконно-оптические преобразователи транспортных систем [Текст] / Г.И. Леонович, В.М. Гре-

чишников, А.С. Лукин [и др.] // Изв. Самарского научного центра РАН, Специальный выпуск «Перспективы и направления развития транспортной системы».- 2007. - С. 95 - 99.

14. Леонович, Г.И. Ливочкина Н.А. Сенсорные сети на основе волоконно-оптических датчиков с рециркуляцией оптических импульсов [Текст] / Г.И. Леонович,

Н.А. Ливочкина // Тез. Всерос. конф. по волоконной оптике// Науч.-техн. журнал «Фотон-экспресс», 6(78) - Москва-Пермь, 2009. - С. 239 - 240.

15. Акустико-эмиссионный метод контроля процессов пластической деформации и разрушения металлических материалов [Текст] <http://www.powerelectronics.ru>.

HEAT METER FOR AKSUE, INTEGRATED INTO MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM TP OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

©2011 V. V. Biryuk¹, G. I. Leonovich¹, N. A. Livochkina²

¹Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

² CSKB – Progress

Modern counters can store the data during time about one year and-or transfer on communication channels in the automated monitoring systems and the account of power consumption which on modern promysh-lennyh the enterprises are integrated into the general automated system by technological processes of manufacture. Besides maintenance of an uninterrupted cycle of works of MANAGEMENT information system TP should possess high degree of information security.

Automated monitoring systems, technological processes, information security.

Информация об авторах

Бирюк Владимир Васильевич, доктор технических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой «Теплотехника и тепловые двигатели», Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Тел.: (846) 335-18-12. E mail: Teplotex_ssau@bk.ru. Область научных интересов: тепломассообмен, термодинамика.

Леонович Георгий Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Теплотехника и тепловые двигатели», Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Тел.: (846) 335-18-12. E mail: Teplotex_ssau@bk.ru. Область научных интересов: тепломассообмен, термодинамика.

Ливочкина Наталья Александровна, инженер Государственного научно-производственного ракетно-космического центра «ЦСКБ - Прогресс». Область научных интересов: теплотехнические измерения.

Biruk Vladimir Vasilevich, doctor of engineering science, professor, deputy head of the department of thermotechnics and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846) 335-18-12. E - mail: Teplotex_ssau@bk.ru. Area of research: heat-and-mass transfer, thermodynamics.

Leonovich George Ivanovich, doctor of engineering science, professor of chair «the Heating engineer and thermal engines», Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846) 335-18-12. E - mail: Teplotex_ssau@bk.ru. Area of research: heat-and-mass transfer, thermodynamics.

Livochkina Natalia Aleksandrovna, engineer of «CSKB – Progress». Area of research: heat-technics measurements.