

АДАПТИВНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

И.А. Скатков, Д.В. Моисеев

Севастопольский государственный университет,
РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: sks144@yandex.ru

В работе рассматриваются вопросы построения отдельных модельных представлений при исследовании достоверности данных, полученных от систем мониторинга окружающей среды. Описан подход, позволяющий повысить продолжительность непрерывной работы системы мониторинга параметров окружающей среды. Основой такого подхода является адаптивная коррекция показаний первичных измерителей в случае снижения их точности вследствие деградационных отказов. Отмечено, что для выявления взаимозависимостей в такой системе необходимо провести имитационное моделирование процесса адаптации в системе мониторинга параметров окружающей среды и поставлена задача на создание такой модели. Предложена структура и уравнения такой системы, поставлена задача создания имитационной модели системы.

Ключевые слова: имитационное моделирование, первичные измерители, деградационный отказ, адаптивная коррекция.

Поступила в редакцию: 03.06.2020. После доработки: 03.08.2020.

Введение. Современные системы мониторинга параметров окружающей среды – это сложные комплексы разнородных технических и программных средств. Они содержат в своем составе операционные сервера, базы оперативных и долговременных наблюдений, стационарные и передвижные посты, терминалы диспетчерских и оперативных служб, средства отображения информации, каналные и многофункциональные сети, коммутационную аппаратуру, первичные измерители информации. Особые требования к качеству систем мониторинга возникают при их использовании в качестве подсистем в системах ответственного применения, контроля состояния критических объектов энергетики, горнодобывающей промышленности, транспорта, технологических процессов химических производств.

Качество работы систем мониторинга жестко контролируется на основе ряда директивных документов и стандартов. Основными критериальными характеристиками систем мониторинга являются надежность, достоверность, чувствительность, устойчивость, срок службы и др.

Одной из главных причин снижения достоверности таких данных являются деградационные процессы в первичном измерителе, которые зачастую устанавливаются в агрессивных средах с неудовлетворительным набором параметров в местах их локализации. В результате деградационных воздействий возникает значительное снижение точности первичных измерителей, вплоть до полных отказов.

Существуют сравнительно длительные временные интервалы, в течение которых первичные измерители подвержены «дрейфу нуля», т.е., происходит плавное изменение номинала метрологической шкалы, (передаточной функции первичного измерителя), вследствие чего возникает систематическая ошибка типа сдвига наблюдений. Второе нарушение нормальной работоспособности первичных измерителей – увеличение случайной погрешности, что приводит к увеличению дисперсии и соответствующему увеличению длины доверительных интервалов наблюдений. Эти нарушения до определенных пор можно компенсировать за счет изменения параметров процессов наблюдения. Первое наруше-

ние можно компенсировать, вводя соответствующую поправку, второе – путем увеличения объема измеряемых данных.

Проблема состоит в том, что отсутствует априорная информация о величине указанных нарушений в работе первичных измерителей. Такие сведения могут быть получены в процессе работы системы мониторинга на основе апостериорной информации. Организация такого функционирования системы мониторинга возможна в рамках обеспечения процессов адаптации. Целью адаптации является достижение компромисса между точностью измерений и затрат на функционирование системы мониторинга.

Результаты исследований деградационных процессов в такой сети проводились в [1, 2], где выполнена оценка времени безотказной работы сети первичных измерителей в зависимости от интенсивности внешних воздействий. В этих работах не учитывалось, что в случае деградационного отказа первичный измеритель еще может быть использован в составе сети, если на стороне обработки данных произвести коррекцию показаний, для чего необходимо откорректировать его передаточную функцию.

Вид этой функции обычно известен и определяется физическими принципами работы датчика. Например, для датчика температуры на основе термопары эта функция линейна, для индуктивного датчика перемещения (который может быть, в свою очередь, в составе других датчиков – например, датчика давления на основе сильфона) эта функция – параболическая. В таких случаях, требуют уточнения только параметры функции. Для этого необходимо произвести калибровку датчика в нескольких рабочих точках.

Многие датчики имеют средства самодиагностики, например, датчик радиационного контроля БДМГ – 08Р [3] оснащен т.н. бленкером – устройством, содержащим образцовый источник ионизирующего излучения и дистанционно управляемым экраном, открывающим этот источник по команде тестирования. В общем случае, необходимо отметить, что техническая реализация по-

дачи тестового (эталонного) сигнала на датчик может быть осуществлена различными способами и её обсуждение выходит за рамки данной статьи.

В распределенных системах мониторинга, в случае отклонения сигнала тестирования датчика за заданные пределы принимается решение о его неисправности и замене. Однако, немедленная остановка системы может приводить к большим ресурсным затратам. Если же показания первичного измерителя можно скорректировать, то таким прибором можно продолжать пользоваться до остановки системы на плановое обслуживание.

Постановка задачи. Целью данной работы является разработка принципов адаптивной настройки для системы обработки показаний первичных измерителей.

Для построения такой системы предлагается ввести специально организованный канал обратной связи, с помощью которого на сторону обработки показаний первичных измерителей поступает информация об их передаточных функциях. Далее система обработки показаний первичных измерителей компенсирует их отклонения. Такие структуры хорошо исследованы в теории автоматического управления и подробно описаны в литературе [4–6]. Получены решения по моделированию таких систем, их анализу, синтезу. Подобные методы предложены для моделирования дискретных систем [7]. Для решения такой задачи необходимо разработать:

- укрупненную типовую структуру канала передачи данных от удаленного первичного измерителя с коррекцией показаний на основе сигнала обратной связи;
- уравнения звеньев системы и уравнения системы в целом;
- структуру канала передачи данных от удаленного первичного измерителя с адаптацией частоты посылок корректирующих сигналов.

Затем следует выполнить постановку задачи имитационного моделирования разработанных структур.

Структура канала передачи данных от удаленного первичного изме-

рителя. Укрупненная типовая структура канала передачи данных от удаленного первичного измерителя с адаптацией на основе обратной связи показана на рис. 1.

Принцип работы такой системы – адаптивная настройка передаточной функции системы обработки данных, компенсирующая систематическую ошибку, например, дрейф нуля. Эта ошибка может вызываться разными при-

чинами (деградацией датчиков, влиянием агрессивной внешней среды, изменением физических условий измерения), и способна меняться в течение времени в обе стороны. В дальнейшем эту величину будем характеризовать возмущающим воздействием $F(t)$ или F в операторной форме. Необходима адаптация системы обработки данных на основе сигнала ошибки ε , который формируется в устройстве сравнения.

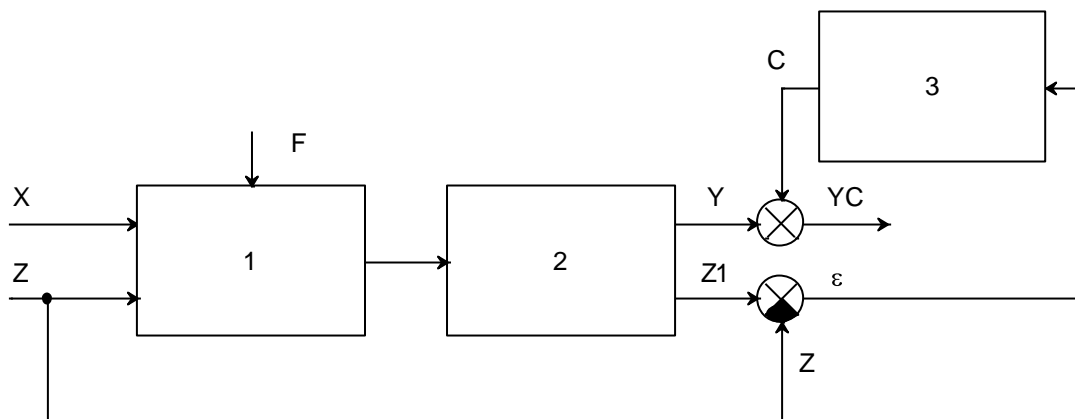


Рис. 1. Структура канала передачи данных от удаленного первичного измерителя с коррекцией показаний на основе сигнала обратной связи

Fig. 1. Structure of the data transmission channel from the remote primary sensor with readout correction based on the feedback signal

На рис. 1 обозначены следующие блоки:

- 1 – первичный измеритель;
- 2 – система обработки данных;
- 3 – блок формирования корректирующего сигнала.

На рис. 1 применены следующие идентификаторы (здесь и далее идентификаторы используются для обозначений сложных структурированных объектов, – кортежей, массивов, матриц). Например, идентификатор F , определяющий возмущающее воздействие на первичный измеритель, представляет собой кортеж, параметры которого меняются в зависимости от специфики решаемой задачи:

- X – измеряемый параметр;
- Y – выходное значение измерительной системы, соответствующее параметру X ;
- Z – тестовое значение измеряемого параметра;
- $Z1$ – выходное значение измеритель-

ной системы для тестового сигнала;

F – возмущающее воздействие на датчик;

C – корректирующий сигнал;

YC – исправленное под воздействием корректирующего сигнала выходное значение системы.

Так как все величины на схеме имеют сложную структуру разных размерностей, поэтому все операции с ними многомерные. Например, сигнал коррекции датчика представляет массив двумерных значений из входной и соответствующей ей выходной величины. Кроме того, датчики могут быть многопараметрическими, многоканальными, дифференциальными или интегральными.

Передаточные функции. Блоки 1, 2 и 3 на рис. 1 имеют передаточные функции W_1, W_2, W_3 (в операторной форме), причем, для успешного измерения должно выполняться условие:

$$W_2 = (W_1)^{-1}. \quad (1)$$

Уравнение системы с обратной связью системы известно [8]:

$$Y = \frac{W_1 \cdot W_2}{1 - W_1 \cdot W_2 \cdot W_3} X. \quad (2)$$

Точность измерения для такой системы зависит от частоты посылки измерительного сигнала Z , которая, при нестационарной величине возмущающего

воздействия F должна быть выбрана на основе компромисса между ошибкой измерения Q и потерей времени R , необходимого для работы системы мониторинга с тестовым сигналом. При заданном допустимом уровне Q структура адаптивной системы может быть такой, как на рис. 2.

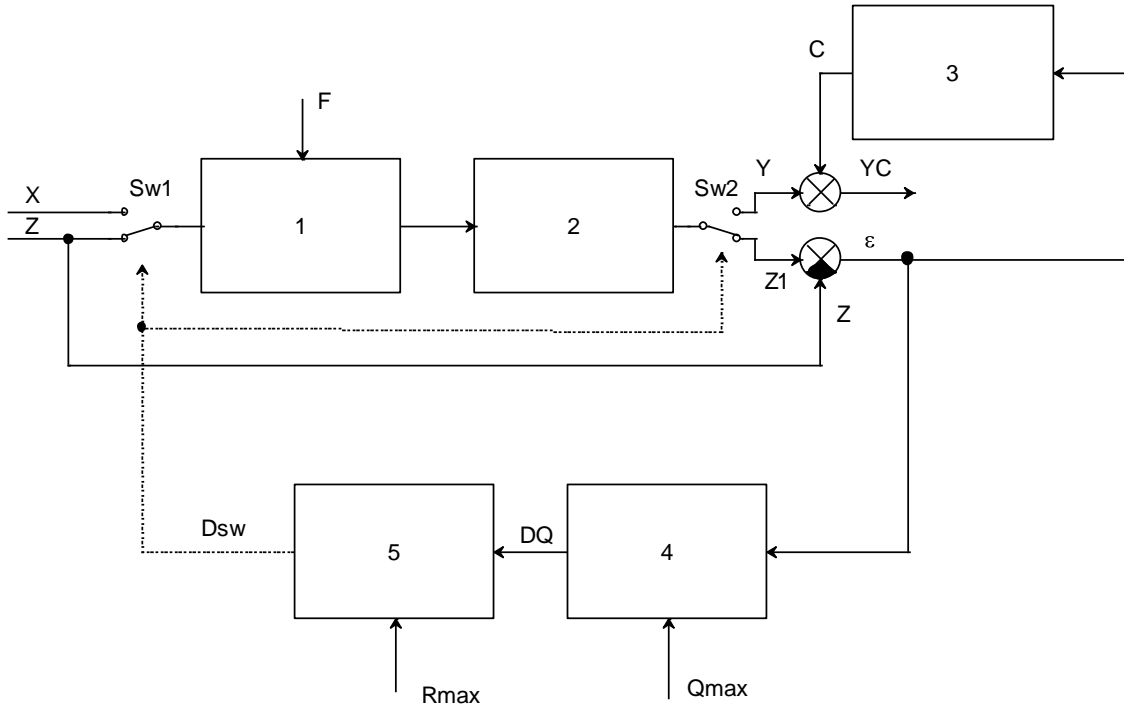


Рис. 2. – Структура канала передачи данных от удаленного первичного измерителя с адаптацией частоты посылок корректирующих сигналов

Fig. 2. Structure of the data transmission channel from the remote primary sensor with adaptation periodicity of correction signals

На рис. 2 дополнительно к рис. 1 обозначены следующие блоки:

– Sw1, Sw2 – коммутаторы входа и выхода для измеряемого и тестового сигнала;

4 – блок выработки сигнала управления коммутаторами на основе критерия ошибки измерения;

5 – блок выработки сигнала управления коммутаторами на основе критерия временных потерь.

На рис. 2 применены следующие идентификаторы:

– Q_{\max} – максимально допустимая ошибка измерения;

– R_{\max} – максимально допустимые временные потери;

– DQ – сигнал управления коммутаторами на основе критерия Q ;

– Dsw – скорректированный сигнал управления коммутаторами на основе критерия R .

Эта структура функционирует следующим образом: по каналу связи в режиме разделения времени передается как основной сигнал X , так и тестовый сигнал Z . На принимающей стороне анализируется разница ϵ между тестовым сигналом Z и полученным сигналом $Z1$. По величине ϵ можно получить информацию о возмущающем воздействии F . Сигнал ошибки ϵ является входным для блока формирования корректирующего сигнала 3. Корректирующий сигнал

складывается с выходным сигналом Y в устройстве сложения. На выходе системы получается откорректированный сигнал YC .

Коммутаторы $Sw1$, $Sw2$ переключают канал измерения из блоков 1 и 2 на измеряемый сигнал X или тестовый сигнал Z . Адаптивность системы определяется её способностью изменять режимы работы переключателей $Sw1$ и $Sw2$ в зависимости от величины возмущающего воздействия F .

Запишем уравнения звеньев системы в операторной форме. Принятый сигнал будет определяться уравнением:

$$Y = (X \cdot W_1 + F) \cdot W_2, \quad (3)$$

где W_i – передаточная функция i -го блока, W_1 – передаточная функция идеального датчика, которая изменяется под влиянием возмущающего воздействия F .

Тестовый сигнал определяется аналогичным уравнением:

$$Z1 = (Z \cdot W_1 + F) \cdot W_2. \quad (4)$$

Для корректирующего кода C можно записать:

$$C = (Z1 - Z) \cdot W_3 = ((Z \cdot W_1 + F) \cdot W_2 - Z) \cdot W_3. \quad (5)$$

Выходной сигнал системы:

$$YC = (X \cdot W_1 + F) \cdot W_2 + ((Z \cdot W_1 + F) \cdot W_2 - Z) \cdot W_3. \quad (6)$$

Выходной сигнал управления коммутаторами:

$$D_{sw} = \varepsilon \cdot W_{4Q_{max}} \cdot W_{5R_{max}} = ((Z \cdot W_1 + F) \cdot W_2 - Z) \cdot W_{4Q_{max}} \cdot W_{5R_{max}}, \quad (7)$$

где $W_{4Q_{max}}$, $W_{5R_{max}}$ – передаточные функции блоков выработки сигнала управления коммутаторами на основе заданных критериев максимального уровня погрешности измерения и временных потерь.

Уравнение (7) можно записать в виде

$$D_{sw} = (Z \cdot W_1 \cdot W_2 + F \cdot W_2 - Z) \times W_{4Q_{max}} \cdot W_{5R_{max}}. \quad (8)$$

Или, учитывая (1):

$$D_{sw} = F \cdot W_2 \cdot W_{4Q_{max}} \cdot W_{5R_{max}}. \quad (9)$$

Таким образом, сигнал управления коммутаторами измерительного и тестового сигнала при известных передаточных функциях приемной части системы мониторинга определяется только возмущающим фактором F , передаточные функции $W_{4Q_{max}}$, $W_{5R_{max}}$ могут быть выбраны таким образом, чтобы скомпенсировать возмущающий фактор, насколько это возможно с учетом введенных ограничений.

Поскольку аналитически учесть все взаимозависимости в предлагаемой модели затруднительно, в дальнейшем предлагается создание имитационной модели. Модель должна будет обеспечить возможность ввода всех параметров предложенной структуры, проведение многократных статистических испытаний, нахождение необходимых статистик, вывод результатов в графическом и текстовом виде и ведение протоколов модельных событий. Поскольку набор исследований, проводимых с помощью модели, может расширяться, необходимо будет предусмотреть гибкую перенастройку модели и возможность экспорта выходных результатов в математические пакеты для их дальнейшей обработки.

Заключение. Таким образом, основной задачей предлагаемого подхода является продление межремонтных интервалов систем мониторинга параметров окружающей среды. Это достигается за счет продления ресурса работы первичных измерителей в случае их деградиционных отказов. Такое продление ресурса достигается за счет создания в системе дополнительного канала обратной связи с адаптивными параметрами. Отмечено, что для выявления взаимозависимостей в такой системе необходимо провести имитационное моделирование процесса адаптации в системе мониторинга пара-

метров окружающей среды и поставлена задача на создание такой модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронин Д.Ю., Скатков А.В., Скатков И.А. Имитационное моделирование деградационных отказов первичных измерителей системы мониторинга // Системы контроля окружающей среды. 2017. Вып. 9 (29). С. 50–58.

2. Доронина Ю.В., Рябова В.О. Развитие метода реструктуризации информационных систем экологического мониторинга на основе анализа вариантов их реализации // Системы контроля окружающей среды – 2016: тезисы докладов Междунар. науч.-техн. конф. Севастополь, 24–27 октября 2016 г. Севастополь: ИПТС, 2016. С. 234.

3. Приложение к свидетельству № 44169 об утверждении типа средств измерений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://all-pribors.ru/docs/10585-11.pdf> свободный (дата обращения: 11.05.2020).

4. Целых А.Н. Адаптивные информационные системы для поддержки принятия решений [Электронный ресурс]: монография / А.Н. Целых, Л.А. Целых, С.А. Барковский. – Электрон. текстовые данные. Ростов н/Д., Таганрог: Изд-во Южного федерального ун-та, 2018. 231 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/87696.html>. – ЭБС «IPRbooks» (дата обращения: 12.05.2020).

5. Тюкин И. Ю., Терехов В.А. Адаптация в нелинейных динамических системах. № 36. Изд. стереотип. URSS. 2014. 384 с. ISBN 978-5-382-01473-9.

ADAPTIVE DEVIATION COMPENSATION FOR PRIMARY SENSOR OF ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEMS

I.A. Skatkov, D.V. Moiseev

Sevastopol State University,
RF, Sevastopol, Universitetskaya St., 33

The paper focuses on the problems of construction of separate model representations when studying the reliability of data obtained using environmental monitoring systems. An approach that allows increasing the duration of continuous operation of the system for monitoring environmental parameters is described. The basis of the approach is adaptive correction of primary meter readings in the event of a decrease in their accuracy due to degradation failures. It is noted that in order to identify interdependencies in such a system, it is necessary to conduct a simulation of the adaptation process in the monitoring system for environmental parameters and the task is to create such a model. The structure and equations of such a system are proposed, and the task of creating a simulation model of the system is set.

Keywords: simulation modeling, primary sensor, degradation failure, adaptive correction.