

УДК 681.518.5

# АЛГОРИТМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ВОДЫ

**С. С. Сабонис,**

аспирант,

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

В статье рассматривается автоматизированная система контроля уровня воды ОВУ-214 («Водоотливная станция»). Для диагностирования данной системы применяются алгоритмы обнаружения дефектов: модифицированный алгоритм кумулятивных сумм для обнаружения изменения среднего и алгоритм Гиршика-Рубина-Ширяева для обнаружения изменения среднего и дисперсии, в качестве модели диагностирования рассматривается модель аналогового датчика, измеряющего уровень воды в сборной емкости водоотливной станции.

The water level monitoring automated system is considered in this paper. The modified CUSUM algorithm and the algorithm by Girshik, Rubin and Shiryaev are applied to the system diagnose. The model of the analog sensor, measuring water level, is used as a model of diagnostic object.

## Введение

В работе [1] проведен сравнительный анализ алгоритмов обнаружения разладки случайного процесса на примере процессов авторегрессии 1-го и 2-го порядков. Среди множества алгоритмов обнаружения выбраны оптимальные для двух типов дефектов: 1) изменение среднего; 2) изменение дисперсии.

При этом как критерий качества обнаружения используется среднее время обнаружения дефекта при контроле уровня вероятности ложного обнаружения.

Итак, среди набора алгоритмов обнаружения изменения среднего наилучшим является модифицированный алгоритм кумулятивных сумм (АКС-м) [2]. Среди набора алгоритмов обнаружения изменения среднего и дисперсии наилучшим является алгоритм Гиршика-Рубина-Ширяева (ГРШ) [3, 4].

Рассмотрим общую структуру системы диагностирования (рис. 1). На объект диагностирования действуют внешние факторы, что приводит к возникновению дефектов. Сигнал на выходе объекта диагностирования подается на блок, реализующий алгоритм принятия решений, который на выходе должен выдать сигнал о наличии или отсутствии дефекта. Алгоритм принятия решений состоит в формировании решающей статистики  $G(n)$  на основе выходного сигнала объекта  $z(n)$  и сравнении ее с порогом  $h$ .

Модифицированный алгоритм кумулятивных сумм:

$$G(n) = \max\{0, G(n-1) + \text{sign}(z(n) - \mu_1 - v/2)\}, \mu_1 < \mu_2;$$

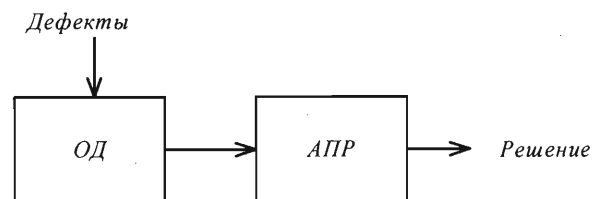
$$G(n) = \max\{0, G(n-1) + \text{sign}(z(n) - \mu_1 + v/2)\}, \mu_1 > \mu_2;$$

$$G(0) = 0;$$

$$G(n) < h \Rightarrow \text{дефекта нет};$$

$$G(n) \geq h \Rightarrow \text{дефект},$$

где  $\mu_1$  и  $\mu_2$  – математическое ожидание процесса до и после появления дефекта;  $h$  – порог срабатывания алгоритма;  $v$  – порог чувствительности алгоритма.



■ Рис. 1. Общая структура системы диагностирования:

ОД – объект диагностирования;

АПР – алгоритм принятия решений

Алгоритм Гиршика–Рубина–Ширяева:

$$G(n) = e^{2n} (1 + G(n-1));$$

$$G(0) = 0;$$

$$G(n) < h \Rightarrow \text{дефекта нет};$$

$$G(n) \geq h \Rightarrow \text{дефект}.$$

### Описание объекта диагностирования

Автоматизированная система контроля уровня воды ОВУ-214 («Водоотливная станция») состоит из трех подсистем: «Сборная емкость», «Исполнительные устройства» и «Энергоснабжение». Подсистема «Сборная емкость» представляет собой резервуар, предназначенный для накопления грунтовых и технических вод, попадающих в тоннель метро. При достижении определенного уровня вода перекачивается из резервуара в канализационную систему, находящуюся вблизи поверхности земли. Резервуар имеет площадь 100 кв. м и высоту 3 м. Скорость прибытия воды непостоянна, но в штатных условиях не превышает 0,5 м/ч. Процесс изменения уровня воды можно представить в виде чередования двух процессов: нарастания уровня воды, когда все насосы отключены, и убывания воды при включении насосов. Оба эти процесса являются инерционными. Так, при дискретности изменения уровня, равной 1 мм, один и тот же уровень сохраняется в течение 1 с или 10 измерений. Данное описание позволяет создать модель процесса изменения уровня воды.

Уровень воды в сборной емкости измеряется с помощью трех датчиков – двух аналоговых и одного дискретного. В качестве модели диагностирования возьмем модель аналогового датчика, в качестве пространства диагностических признаков будем рассматривать разницу показаний двух аналоговых датчиков.

### Модель аналогового датчика уровня воды

В качестве модели аналогового датчика предлагается модель нормального распределения погрешности его показаний относительно реального уровня воды:

$$x = h + \varepsilon_{ад},$$

где  $x$  – показания аналогового датчика;  $h$  – текущий уровень воды;  $\varepsilon_{ад} \in N(s_{ад}, \sigma_{ад}^2)$  – погрешность измерения аналогового датчика (случайная величина с нормальным законом распределения, имеющим параметры: математическое ожидание, равное  $s_{ад}$  и дисперсию  $\sigma_{ад}^2$ );  $s_{ад}$  – систематическая погрешность;  $\sigma_{ад}$  – случайная составляющая погрешности.

При отсутствии дефекта аналогового датчика систематическая составляющая погрешности

$s_{ад} = 0$ , а случайная составляющая удовлетворяет следующему соотношению:

$$3\sigma_{ад.ном} \leq 2 \text{ см},$$

или

$$\sigma_{ад.ном} \leq \frac{2 \text{ см}}{3} = 0,67 \text{ см}.$$

Дефектами аналогового датчика являются:

1) появление систематической составляющей погрешности  $s_{ад} \neq 0$ ;

2) увеличение уровня дисперсии  $\sigma_{ад}^2$  погрешности датчика.

### Применение алгоритмов диагностирования

Будем рассматривать три вида дефектов. Дефекты 1 и 2 – увеличение математического ожидания погрешности измерения одного из аналоговых датчиков на 1 и 3 см соответственно. Дефект 3 – увеличение уровня дисперсии погрешности измерения одного из аналоговых датчиков вдвое.

Моделирование производится в два этапа.

1. Настройка параметров алгоритма на вероятность ложного обнаружения. Исходный процесс (без дефекта) подается в систему; на выходе ведется подсчет ложных обнаружений. За счет варьирования параметров алгоритма происходит его настройка на заданный уровень вероятности ложного обнаружения.

2. Введение дефекта и определение среднего времени обнаружения. Изменяются параметры (математическое ожидание или дисперсия) шумов на входе в систему; на выходе выявляется смещение момента обнаружения относительно истинного момента дефекта. Это смещение и есть время обнаружения.

Для настройки алгоритмов зададим уровень вероятности ложного обнаружения  $P_{ло} = 0,01$ .

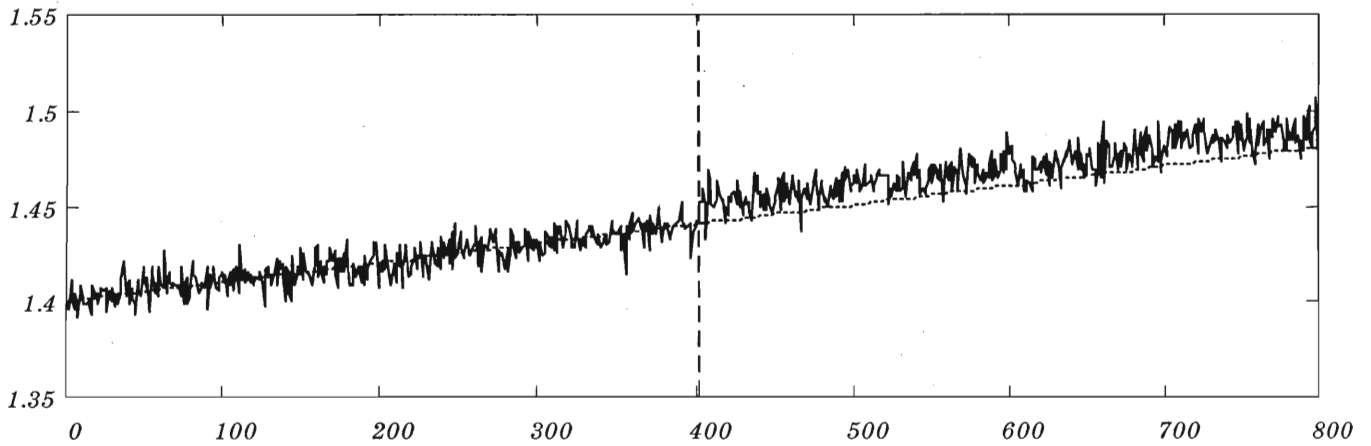
Тогда параметры модифицированного алгоритма кумулятивных сумм:  $v = 0,04$ ;  $h = 0,9$ .

Параметры алгоритма Гиршика–Рубина–Ширяева:  $h = 0,29$ .

Для моделирования процесса изменения уровня воды, показаний аналоговых датчиков и для реализации алгоритмов диагностирования была написана программа в пакете Matlab (около 600 строк).

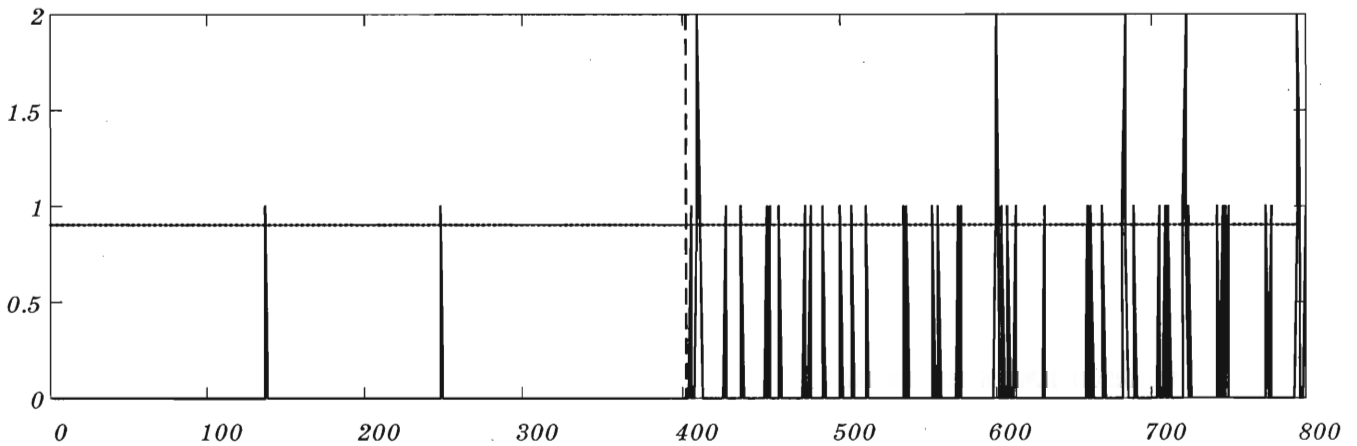
Результаты моделирования процесса изменения уровня воды с дефектом 1-го вида (изменение математического ожидания погрешности измерения одного из аналоговых датчиков на 1 см) и соответствующая решающая статистика модифицированного алгоритма кумулятивных сумм показаны на рис. 2 и 3. Время обнаружения  $T = 4$ .

Результаты моделирования процесса изменения уровня воды с дефектом 2-го вида (изменение математического ожидания погрешности измерения одного из аналоговых датчиков на 3 см) и со-



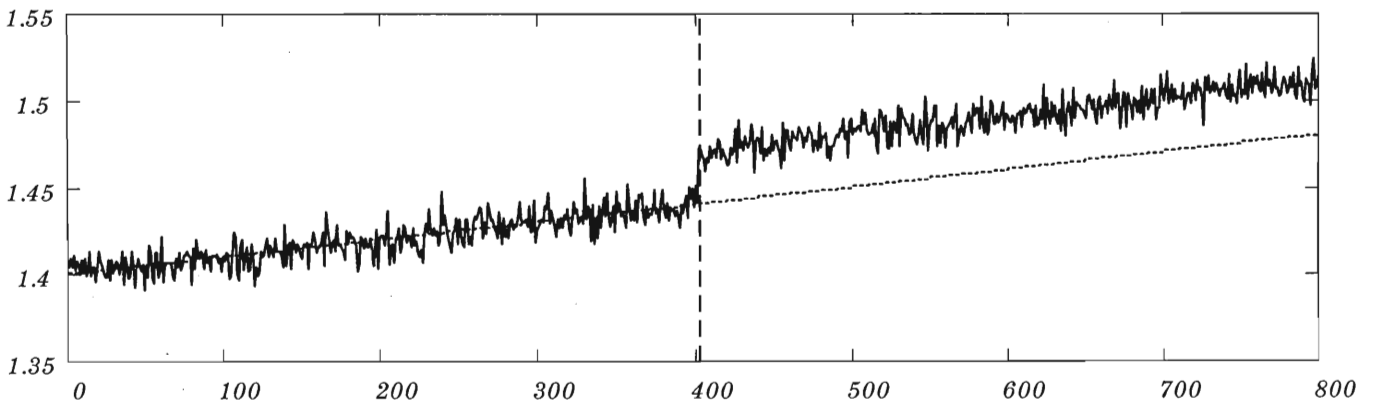
■ Рис. 2. Моделирование процесса изменения уровня воды с дефектом 1-го вида:

- процесс увеличения уровня воды;
- показания аналогового датчика;
- ..... момент возникновения дефекта



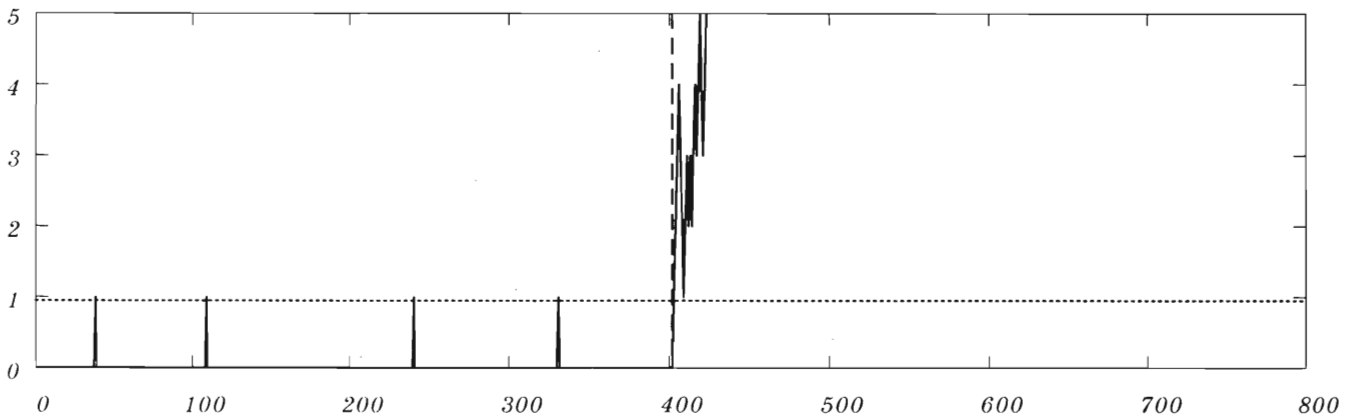
■ Рис. 3. Решающая статистика алгоритма АКС-м (дефект 1-го вида):

- уровень порога срабатывания алгоритма;
- решающая статистика;
- ..... момент возникновения дефекта

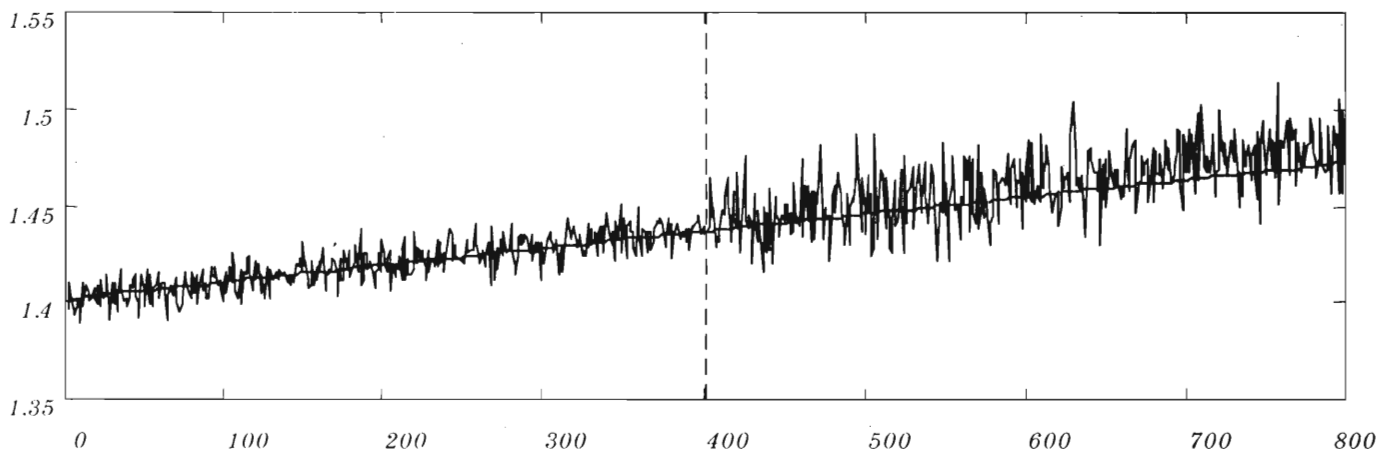


■ Рис. 4. Моделирование процесса изменения уровня воды с дефектом 2-го вида:

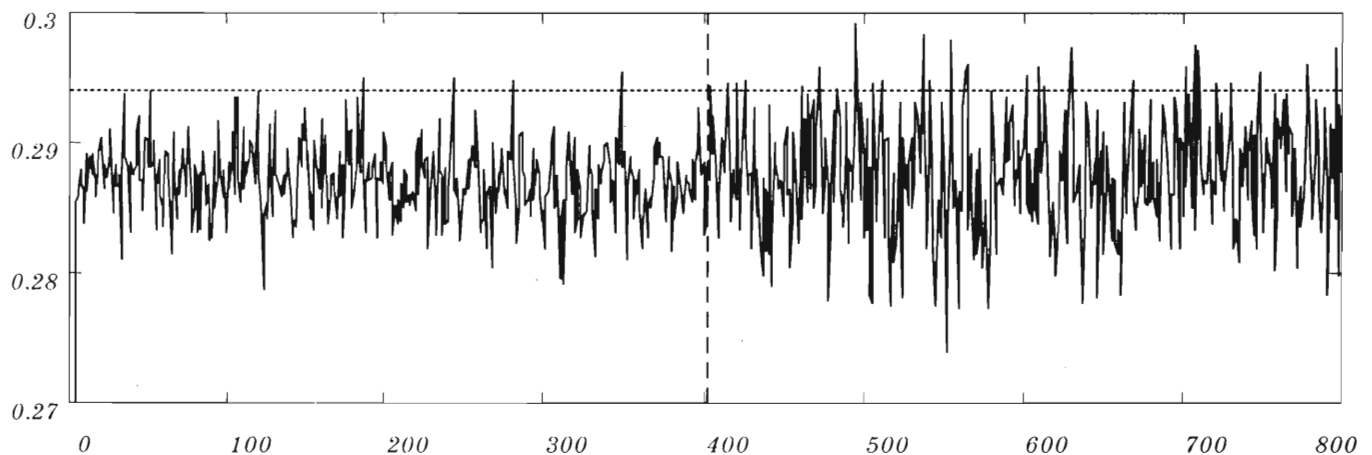
- процесс увеличения уровня воды;
- показания аналогового датчика;
- ..... момент возникновения дефекта



■ Рис. 5. Решающая статистика алгоритма АКС-м (дефект 2-го вида):  
 - - - - - уровень порога срабатывания алгоритма;  
 ————— решающая статистика;  
 ..... момент возникновения дефекта



■ Рис. 6. Моделирование процесса изменения уровня воды с дефектом 3-го вида:  
 - - - - - процесс увеличения уровня воды;  
 ————— показания аналогового датчика;  
 ..... момент возникновения дефекта



■ Рис. 7. Решающая статистика алгоритма ГРШ (дефект 3-го вида):  
 - - - - - уровень порога срабатывания алгоритма;  
 ————— решающая статистика;  
 ..... момент возникновения дефекта

ответствующая решающая статистика модифицированного алгоритма кумулятивных сумм показаны на рис. 4 и 5. Время обнаружения  $T = 2$ .

Результаты моделирования процесса изменения уровня воды с дефектом 3-го вида (увеличение уровня дисперсии погрешности измерения одного из аналоговых датчиков вдвое) и соответствующая решающая статистика алгоритма Гиршика-Рубина-Ширяева показаны на рис. 6 и 7. Время обнаружения  $T = 3$ .

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о возможности применения

выбранных алгоритмов для обнаружения изменений математического ожидания и дисперсии погрешности измерения аналогового датчика водотливной станции. При этом величина среднего времени обнаружения дефекта принимает небольшие значения, что подтверждает правильность выбора алгоритмов принятия решений с точки зрения рассматриваемого критерия качества обнаружения (минимум среднего времени обнаружения дефекта при контроле уровня вероятности ложного обнаружения).

## Литература

1. Сабонис С. С. Обнаружение дефектов в системах управления с использованием фильтра Калмана // Научно-технические ведомости. – 2004. – №1. – С. 214–220.
2. Бывайков М. Е., Ромащев А. А. О робастности в задаче обнаружения изменения параметра сдвига случайного процесса // Автоматика и телемеханика. – 1989. – № 7. – С. 138–143.
3. Бродский Б. Е., Дарховский Б. С. Проблемы и методы вероятностной диагностики // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 8. – С. 3–50.
4. Бродский Б. Е., Дарховский Б. С. Сравнительный анализ некоторых непараметрических методов скорейшего обнаружения момента «разладки»

случайной последовательности // Теория вероятностей и ее применения. – 1990. – Т. 35. – № 4. – С. 881–888.

5. Бендерская Е. Н., Колесников Д. Н., Пахомова В. И. Функциональная диагностика систем управления: Учеб. пособ. / СПбГТУ. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. – 143 с.
6. Никифоров И. В. Модификация и исследование процедуры кумулятивных сумм // Автоматика и телемеханика. – 1980. – № 9. – С. 74–80.
7. Никифоров И. В. Последовательное обнаружение изменения свойств стохастических сигналов и систем на основе модифицированного алгоритма кумулятивных сумм // В кн.: Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем / Под ред. М. Бассвиль, А. Банвениста. – М.: Мир, 1989. – С. 159–187.