

УДК 004.052.42

**МЕТОД ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО НЕЗНАЧИМЫХ СИГНАЛОВ ТРЕВОГИ**

БОГОМОЛОВ С.Л., АНОХИН А.Н.

*АО «Русатом Автоматизированные системы управления»
(Москва, Российская Федерация)*

Аннотация. В настоящее время является актуальной задача интеллектуальной обработки сработавшей сигнализации, которая позволяет привести объем сигнализации, требующей внимания оператора к человеческим возможностям без потери осведомленности о ситуации. Одним из наиболее часто применяемых методов обработки является подавление избыточных сигналов тревоги, которые либо не несут дополнительной информации в данной ситуации, либо не требуют никакой реакции от оператора. Для разработки алгоритмов подавления сигнализации требуется анализ статистики функционирования АЭС с целью выявления сигналов тревоги, которые могут быть классифицированы как избыточные и незначимые в определенной ситуации. В работе представлен метод анализа и результаты его применения на примере технологической системы АЭС.

Ключевые слова: избыточные сигналы тревоги, незначимые сигналы тревоги

**METHOD OF PRELIMINARY ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL ALARMS TO DETECT
POTENTIALLY INSIGNIFICANT ALARMS**

SERGEY.L. BOGOMOLOV, ALEXEY.N. ANOKHIN

*Rusatom automated control systems, Joint-stock company
(Moscow, Russian Federation)*

Abstract. Currently the task of intelligent processing of triggered alarms is actual. That task allows bringing the volume of alarms requiring the operator's attention to human capabilities without losing awareness of the situation. One of the most commonly used processing methods is the suppression of redundant alarms, i.e. alarms either do not provide additional information in a given situation, or do not require any response from operator. To develop alarm suppression algorithms, it is necessary to analyze the statistics of NPP operation in order to identify alarms that can be classified as redundant and insignificant in certain operation. This paper presents the analysis method and the results of its application on the example of a NPP technological system.

Keywords: redundant alarms, minor alarms.

Введение

Оператор энергоблока АЭС регулярно получает уведомления о возникших на станции событиях и на их основании выполняет корректирующие действия. Цикл возникновения и работы оператора с сигналом тревоги подробно описан в [1]. В случае, если число получаемых оператором сигналов тревоги в единицу времени становится значительным, повышается риск совершения ошибки [2]. Критические величины потока сигналов тревоги, выше которых возникает информационная перегрузка оператора, указаны в [3].

Избежать этой ситуации можно за счет уменьшения проектировщиком АЭС общего числа сигналов тревоги в БД, однако современная тенденция носит обратный характер [4]. В связи с этим приобретает актуальность задача интеллектуальной обработки сработавшей сигнализации, позволяющая минимизировать или, по крайней мере, привести объем сигнализации, требующей внимания операторов, к человеческим возможностям без потери общей осведомленности о ситуации. Одним из наиболее часто применяемых методов обработки является подавление избыточных сигналов тревоги, которые либо не несут дополнительной информации в данной ситуации, либо не требуют никакой реакции оператора [5, 6]. Однако разработка многочисленных алгоритмов подавления сигнализации – сложная и трудоемкая процедура. Снизить этот объем и сфокусировать внимание проектировщиков на первостепенных задачах позволяет предварительный анализ статистики функционирования АЭС, целью которого является выявление сигналов тревоги, которые могут быть квалифицированы как избыточные и незначимые в определенной ситуации. В настоящей статье рассмотрены метод и результаты такого анализа на примере системы продувки-подпитки (СПП), подробно описанной в [7]. Причинами выбора данной системы стали ее сложность,

разветвленность, взаимодействие с многими внешними системами, многофункциональность, присутствие разнородного оборудования и наличие различных физико-химических процессов. Все это делает данную систему репрезентативной и обеспечивает возможность масштабирования предлагаемого метода на всю АЭС.

Метод анализа

В качестве основных событий, формирующих сигналы тревоги, выступают:

- нарушение аналоговыми технологическими параметрами (такими как давление, температура, расход и др.) нижних и/или верхних регламентных, предупредительных и аварийных уставок;
- нарушения или нерегламентная работа оборудования.

Выявление сигналов-кандидатов для последующей разработки алгоритмов подавления предлагается выполнять на основе анализа переключений оборудования (изменений его состояния – включено/выключено, открыто/закрыто) в анализируемой и смежной с ней системах. Если такие переключения совершались в то время, когда сигнал тревоги оставался активированным, то можно предположить, что сигнал устранился вследствие вмешательства оператора (или автоматики). Если переключений не было, это означает, что событие и, как следствие, сигнал тревоги устранились сами собой, что можно рассматривать в качестве побудительного мотива для дальнейшего более тщательного анализа уставок срабатывания сигнала и необходимости его генерации в данных условиях.

Для реализации предложенного метода была разработана программа на языке программирования Python. Эта программа анализирует имеющиеся архивные данные, зарегистрированные SCADA-системой в ходе эксплуатации АЭС, осуществляет их статистическую обработку и идентифицирует потенциально незначимые сигналы тревоги.

Результаты и их обсуждение

Были проанализированы реальные архивные данные функционирования СПП и смежных систем АЭС (система заполнения теплоносителем трубопроводов и оборудования реакторной установки, система поддержания требуемого объема теплоносителя, система подачи теплоносителя на очистку и др.). Состав рассматриваемых смежных систем был выбран таким образом, чтобы осуществляемые в них управляющие воздействия могли оказывать непосредственное влияние на технологические параметры СПП. Интервал времени анализируемых архивных данных составил 65 суток. Выбранный временной интервал включает в себя как периоды стационарной работы энергоблока, так и переходные режимы.

Проектом АСУ ТП предусмотрено формирование сигнализации по 580 событиям, которые потенциально могут произойти в СПП. Из них за анализируемый интервал времени реализовались 357 событий. При этом в отдельные дни число реализаций (т.е. общее число сгенерированных сигналов тревоги) более чем в 9 раз превысило рекомендуемое значение, указанное в [3], из чего можно сделать вывод, что оператор, ответственный за данную систему – ведущий инженер управления реактором, работает в режиме информационной перегрузки.

Было выявлено, что основной поток сигналов тревоги сопровождает переходные режимы, что вполне логично и объясняется тем, что СПП принимает в них непосредственное участие. При этом основными вкладчиками в общий объем сигнализации стали 10 событий, которые вызвали 79 % общего числа сигналов тревоги. Статистика по четырем из этих событий, а также результаты выявления частоты событий, не потребовавших вмешательства оператора, показана в таблице, где:

P_i – вклад i -го события в общий объем сигнализации по СПП за 65 суток ($\sum_i P_i = 100\%$);

$P_i^{\text{исчез.}}$ – доля сигналов тревоги, сгенерированных по i -му событию, которые исчезли без прямого вмешательства оператора и действия автоматики в СПП и смежных системах.

Таблица. Перечень событий, внесших наибольший вклад в возникновение сигнализации

Сигнализируемое событие	P_i , %	$P_i^{\text{исчез.}}$, %
Запас до кавитации насоса большой производительности $1 < 7$ м	24	90
Ток электродвигателя насоса большой производительности $1 > 69$ А	18	67
Неисправность регулирования регулирующего клапана вывода теплоносителя 1	12	62
Давление масла в насосе малой производительности $2 < 35$ кПа	8	94

В ходе анализа архивных данных было установлено, что сигналы тревоги, снявшиеся без участия человека или автоматики, составляют 63 % от общего объема сигнализации, зарегистрированной за анализируемый период. Причинами их возникновения могут быть:

- неверно подобранные уставки, обуславливающие явление, получившее название «дребезг» сигнала;
- зависимость от режима работы оборудования;
- недостоверность средств и каналов измерения и др.

Учитывая, что значительная часть из самостоятельно исчезающих сигналов тревоги активировались на очень незначительное время, можно сделать вывод о флуктуации значения вокруг уставки и, как следствие, т.е. о «дребезге» параметра. Однако более достоверный вывод, а также выбор адекватного метода подавления каждого сигнала тревоги возможны лишь при дальнейшем анализе.

Заключение

В работе предложен метод выявления потенциально избыточных сигналов тревоги, основанный на перекрестном анализе возникающих событий и наличия ответных управляющих действий. На примере системы продувки-подпитки АЭС было выявлено следующее:

- проблема информационной перегрузки оператора потенциально незначимыми сигналами тревоги является крайне актуальной и это может привести к ошибкам и снижению бдительности;
- почти две трети событий, реализовавшихся за 65 суток, исчезли без участия человека или автоматики.

Применение описанного алгоритма позволит в режиме реального времени по мере эксплуатации технологического объекта автоматически выявлять сигналы тревоги, требующие более тщательного анализа, корректировки уставок и алгоритмов формирования сигнала, а также применения алгоритмов подавления избыточной сигнализации.

Список литературы

1. Stanton N. Human factors in alarm design. CRC Press, 1994.
2. Swain A.D., Guttman H.E. Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant application (NUREG/CR-1278). – Springfield, VA: National Technical Information Service, 1983.
3. IEC 62682-2014 Management of alarm systems for the process industries.
4. Богомолов С.Л. Увеличение числа расчетных точек в БД новых СВУ АЭС // 18-я ежегодная Конференция молодых специалистов по ядерным энергетическим установкам (Подольск, 30–31 марта 2016 г.).
5. Богомолов С.Л. Метод снижения объема сигнализации, выдаваемой оператору СВУ АЭС // XII отраслевой семинар «Современные программно-технические средства и технологии в АСУТП» (Обнинск, 25–27 окт. 2017 г.).
6. Богомолов С.Л., Анохин А.Н. Исследование эффективности методов и алгоритмов предотвращения избыточной и лавинообразной сигнализации на примере технологической системы АЭС // XII мультikonференция по проблемам управления: материалы (Геленджик, 23–28 сен. 2019г.). – Т. 1. – С. 155–157.
7. Андрущенко С.А. Афров А.М., Васильев Б.Ю. и др. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта. – М.: Логос, 2010.