

УДК 62.503.55:621.03

DOI: 10.24160/1993-6982-2021-6-132-136

Применение алгоритма обнаружения изменения сигнала в системе контроля гидроамортизаторов

А.А. Шилов, А.Н. Черняев

Во время эксплуатации атомной электростанции (АЭС) основное оборудование реакторной установки, испытывая воздействия различных внешних и внутренних нагрузок, может перемещаться. Это связано с температурным расширением металла и сейсмическими воздействиями. По этой причине особо подверженные данным видам нагрузок элементы реакторной установки закрепляют гидроамортизаторами (ГА) с целью ограничения перемещения при воздействии сейсмических или аварийных динамических нагрузок, а также обеспечения тепловых перемещений при наборе или сбросе мощности энергоблока. Для контроля за работой ГА и косвенного контроля за перемещениями оборудования реакторной установки, раскрепленного ГА, предусмотрена специализированная система контроля гидроамортизаторов (СКГА), оснащенная датчиками линейных перемещений, установленными непосредственно на гидроамортизаторы. В случае обнаружения отклонений перемещений от установленных величин в алгоритмах СКГА формируется сигнализация. Также информация из СКГА нужна для расчета критериальных параметров перемещения патрубков парогенераторов системой автоматизированного контроля остаточного ресурса (САКОР).

Однако в процессе эксплуатации ряда энергоблоков АЭС появилась проблема, связанная с многочисленными сбоями датчиков линейного перемещения СКГА, которые характеризовались выбросами и зависаниями сигналов, вызванными внешними воздействующими факторами. В результате работа СКГА и САКОР осложнилась большим количеством недостоверных измерений, и функции систем не выполнялись должным образом.

Для решения указанной проблемы предложено использовать алгоритм слежения за изменением сигнала, способный повысить достоверность показаний в СКГА за счет определения недостоверных данных в режиме реального времени и при статистической обработке уже имеющегося массива показаний.

Ключевые слова: залипание датчика, повышение достоверности, система контроля, атомная электростанция.

Для цитирования: Шилов А.А., Черняев А.Н. Применение алгоритма обнаружения изменения сигнала в системе контроля гидроамортизаторов // Вестник МЭИ. 2021. № 6. С. 132—136. DOI: 10.24160/1993-6982-2021-6-132-136.

Application of the Signal Change Tracking Algorithm in the Hydraulic Shock Absorber Monitoring System

А.А. Shilov, A.N. Chernyaev

During nuclear power plant (NPP) operation, the reactor plant main equipment can show displacements when subjected to the effect of various external and internal loads. These displacements are mainly caused by thermal expansion of the metal and seismic loads. To cope with these phenomena, the reactor plant components that are most susceptible to these types of loads are fastened with hydraulic shock absorbers (HSAs) to limit their displacements under the effect of seismic or accident dynamic loads, as well as to ensure thermal displacements in increasing or decreasing the power unit output. For monitoring the HSA operation and indirectly monitoring the displacements of the reactor plant equipment items fastened with hydraulic shock absorbers, the dedicated hydraulic shock absorber monitoring system (HSAMS) is used, which is equipped with linear displacement sensors installed directly on the HSAs. If the displacements go beyond the predetermined limits, the HSAMS algorithms produce an appropriate alarm. The information from the HSAMS is also used by the automated residual lifetime monitoring system (ARLMS) to calculate the steam generator connection pipe displacement criteria parameters.

However, during the operation of a number of NPP power units, a problem associated with numerous failures of the HSAMS linear displacement sensors has been faced. These failures manifested themselves in that the sensor signals went beyond the valid range or frozen under the effect of external influencing factors. As a result, the HSAMS and ARLMS operation was complicated by a large number of unreliable measurements and the functions of these systems were not performed in a proper way.

To solve this problem, it has been proposed to use an algorithm for tracking signal changes, which can improve the credibility of HSAMS indications by determining unreliable data in the online mode and by performing statistical processing of the already available array of indications.

Key words: sensor sticking, credibility improvement, monitoring system, nuclear power plant.

For citation: Shilov A.A., Chernyaev A.N. Application of the Signal Change Tracking Algorithm in the Hydraulic Shock Absorber Monitoring System. Bulletin of MPEI. 2021;6:132—136. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2021-6-132-136.

Введение

При эксплуатации атомной электростанции (АЭС) основное оборудование реакторной установки испытывает воздействия различных внешних и внутренних нагрузок и может перемещаться [1]. Такие перемещения в основном связаны с температурным

расширением металла и сейсмическими воздействиями. Особо подверженные данным видам нагрузок элементы реакторной установки закрепляют гидроамортизаторами. Это делают для ограничения перемещения при воздействии сейсмических или аварийных динамических нагрузок, а также обеспечения тепло-

вых перемещений при наборе или сбросе мощности энергоблока. Для контроля за работой гидроамортизаторов (ГА) и косвенного контроля за перемещениями оборудования реакторной установки, раскрепленного гидроамортизаторами, существует специализированная система контроля гидроамортизаторов (СКГА), оснащенная датчиками линейных перемещений, установленными непосредственно на гидроамортизаторы. В случае обнаружения отклонений перемещений от определенных величин в алгоритмах СКГА формируется сигнализация. Также информация из СКГА необходима для расчета критериальных параметров перемещения патрубков парогенераторов системой автоматизированного контроля остаточного ресурса (САКОР) [2].

В процессе эксплуатации ряда энергоблоков АЭС была выявлена проблема, связанная с многочисленными сбоями датчиков линейного перемещения СКГА. Они характеризовались выбросами и зависаниями сигналов, вызванными внешними факторами [3, 4]. В результате работа СКГА и САКОР осложнилась большим количеством недостоверных измерений, и функции систем не выполнялись должным образом.

Для решения данной проблемы было предложено использовать алгоритм обнаружения изменения сигнала, способный повысить достоверность показаний в СКГА за счет определения недостоверных данных в режиме реального времени и при статистической обработке уже имеющегося массива показаний. Алгоритм применим только для отсеивания сбоев датчиков типа зависания сигнала, связанных с заклиниванием штока датчиков линейных перемещений в СКГА.

Описание алгоритма обнаружения изменения сигнала

Алгоритм обнаружения изменения сигнала применяется в СКГА для отсеивания недостоверных показаний, связанных с зависаниями входных сигналов, вызванными заклиниванием штоков датчиков линейных перемещений (ДЛП) (рис. 1) [5, 6].

Как правило, первопричина данных сбоев в датчиках СКГА — неправильный монтаж при пусконаладке системы, либо физическое воздействие со стороны эксплуатирующего персонала по причине халатной невнимательности.

В основе алгоритма обнаружения изменения сигнала лежит положение, что процесс температурного расширения и сужения металла оборудования реакторной установки зависит от температуры теплоносителя первого контура [7]. При изменении этого параметра, по прошествии определённого времени, величина которого связана с инерционностью распространения температуры в металле [8, 9], перемещений гидроамортизатора не может не быть. Это обусловлено конструктивными особенностями ГА, используемых на АЭС, и подтверждено большим количеством статистических данных, полученных в ходе их эксплуатации [10]. Следовательно, отсутствие изменения сигнала перемещений с датчика СКГА спустя время запаздывания прогрева или остывания металла, свидетельствует о сбое в работе датчика, вызванном зависанием сигнала.

Для обнаружения подобного сбоя в работе ДЛП следует проанализировать изменение сигнала x на интервале времени, превышающем время запаздывания прогрева или остывания металла τ_3 :

$$x_i - x_{i+1} \neq 0, \tag{1}$$

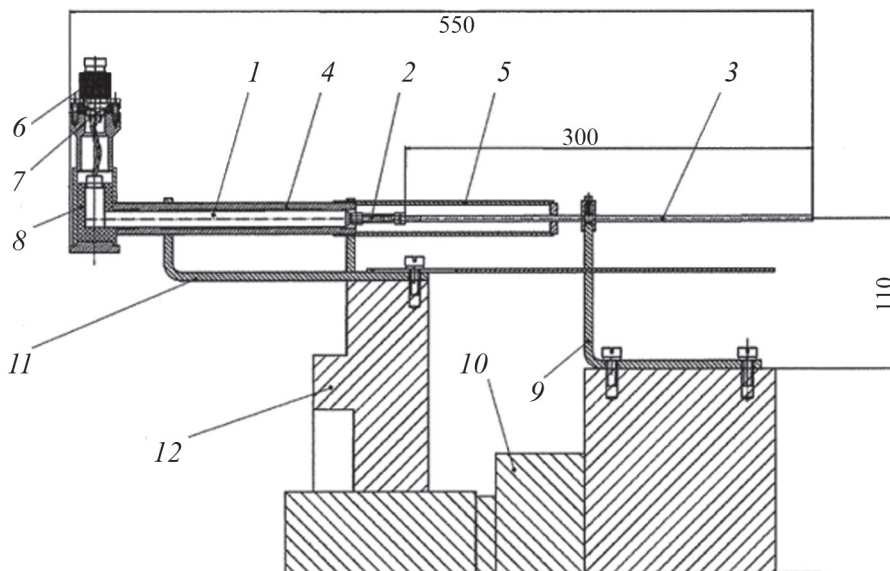


Рисунок 1. Датчик линейных перемещений:

1 — датчик перемещений; 2 — соединительная муфта; 3 — шток; 4 — корпус ДЛП; 5 — чехол с направляющей; 6 — разъем (вилка); 7 — розетка; 8 — герметик-компаунд; 9 — кронштейн направляющей; 10, 11 — поршень и корпус ГА; 12 — консоль

где x_i — значение сигнала в момент времени $t + \tau_3$; x_{i+1} — последующее значение сигнала.

Вывод о достоверности сигнала подтверждается проверкой условия (1) для каждого последующего измерения.

Стоит отметить, что условие (1) применяется для определения достоверности сигнала только при изменении температуры теплоносителя в динамических режимах работы энергоблока, в остальных случаях, по прошествии времени запаздывания прогрева или остывания металла, перемещений оборудования, а следовательно, и перемещений ГА, оно не работает.

Основной сложностью работы данного алгоритма стал поиск времени запаздывания прогрева или остывания металла τ_3 [11], зависящего от параметров течения теплоносителя в петлях первого контура и скорости изменения температуры теплоносителя. Также к минусу алгоритма можно отнести то, что достоверность измерений в промежуток времени до прошествия времени запаздывания не может быть оценена, а в системах, обладающих большой инерцией, как СКГА, это время составляет порядка десятков минут.

Схема алгоритма повышения достоверности измерений дана на рис. 2.

Алгоритм работает следующим образом:

- считывается сигнал с датчика — идет наблюдение в текущий момент времени l_i ;

- в систему приходит сигнал о температуре теплоносителя T_i ;
- на вход алгоритма поступает уставка, компенсирующая зашумление сигнала Δ ;
- если температура теплоносителя T_i не меняется, делается вывод о неприменимости наблюдения l_i ;
- рассчитывается время запаздывания прогрева или остывания металла τ_3 , наблюдения l_i записываются в память программируемого логического контроллера;
- из памяти выгружаются наблюдения $l_{i+n} \dots l_{i+n+1}$, где n — количество интервалов времени, равных запаздыванию прогрева или остывания металла τ_3 ;
- разница между выгружаемыми наблюдениями сравнивается с уставкой, компенсирующей зашумление, принимается вывод о достоверности l_{i+n} наблюдения.

Применение алгоритма повышения достоверности измерений специализированной системы контроля гидроамортизаторов

На вход алгоритма поступают показания с датчика перемещений СКГА, параметры для расчета времени запаздывания прогрева или остывания металла τ_3 и информация о температуре теплоносителя.

В случае, если температура теплоносителя не меняется, алгоритм не берет в работу значения наблюдений на интервале времени, превышающем время запаздывания прогрева или остывания, о чем делается соответствующий вывод.

Из-за жестких условий среды эксплуатации датчиков СКГА входной сигнал перемещений с них приходит в алгоритм зашумленным. На рисунке 3 изображен увеличенный в масштабе график измерений, на котором видны частые скачки показаний с датчиков.

Для компенсации зашумления входного сигнала при вычислении изменений сигнала неравенство (1) сравнивается не с нулем, а с уставкой Δ , равной 0,01 мм. Данное значение зависит от динамики переходных процессов и выбирается путем анализа статистических данных о работе системы и специфики технологического процесса.

Для оценки достоверности сигнала, изменения сигнала, происходящие при изменении температуры, последовательно сравниваются с уставкой Δ , и, в случае превышения уставки, наблюдение считается недостоверным.

Моделирование работы алгоритма проходило на выборке измерений датчика линейных перемещений СКГА. Данные были получены в ходе эксплуатации энергоблока за один месяц и выгружены из СКГА в виде массива информации, после чего импортированы в программную среду. Интервал времени между наблюдениями — одна секунда. Значение уставки Δ взято равной 0,01 мм, исходя из анализа зашумленности входного сигнала (см. рис. 3). Результаты моделирования представлены на рис. 4. В результате работы

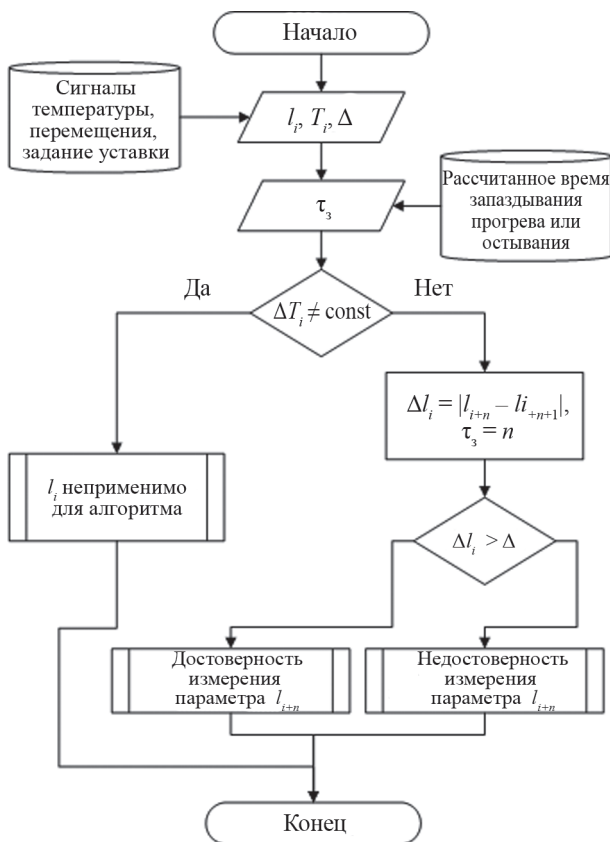


Рис. 2. Схема алгоритма повышения достоверности измерений

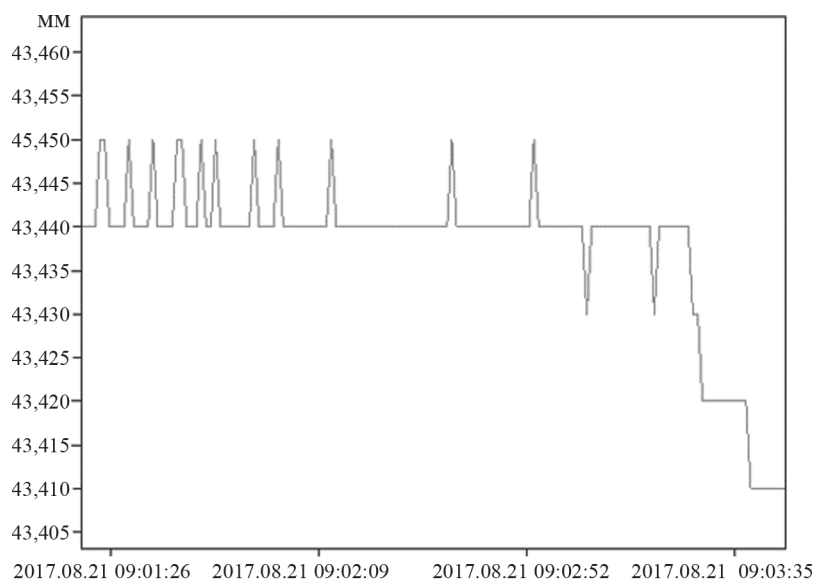


Рис. 3. График, составленный по измерениям от датчика линейных перемещений, в увеличенном масштабе (отрезок времени в 4 мин.).

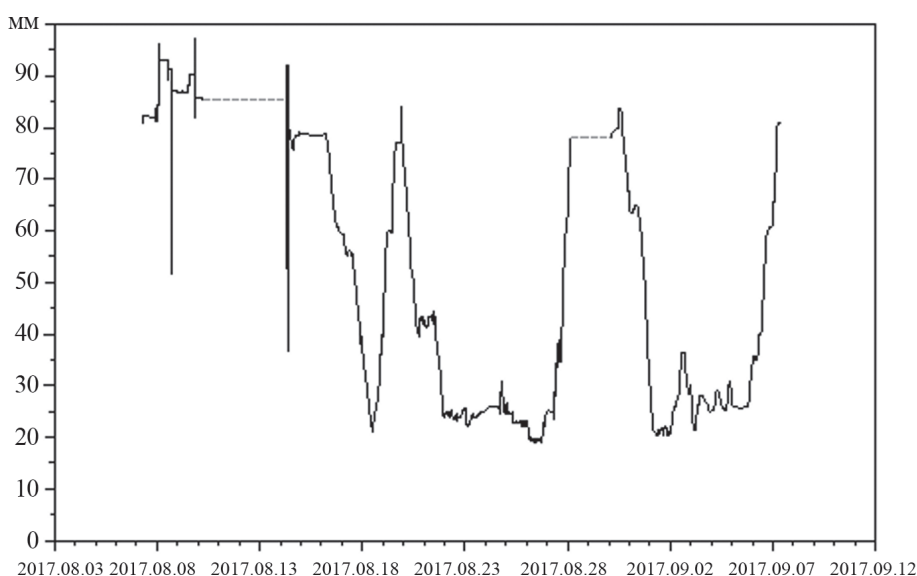


Рис. 4. График, составленный по измерениям от датчика линейных перемещений (—) с недостоверными измерениями (---)

алгоритма повышения достоверности измерений обнаружены 603583 недостоверных измерения.

Заключение

Разработанный алгоритм позволяет выявить в динамических режимах эксплуатации энергоблока недостоверные измерения, причиной которых служит

залипание сигнала. Указанные измерения в алгоритме работы СКГА помечаются как недостоверные и не учитываются в работе, а также не передаются во внешние системы. Это позволяет избежать принятия ложных решений, связанных с невыполнением СКГА и САКОР своих функций, без внесения изменений в конфигурацию технических средств или архитектуру систем.

Литература

1. Бирбраер А.Н., Роleder А.Ю. Безопасность атомных электрических станций при экстремальных внешних воздействиях // Биосфера. 2010. Т. 2. № 2. С. 197—213.

References

1. Birbraer A.N., Roleder A.Yu. Bezopasnost' Atomnykh Elektricheskikh Stantsiy pri Ekstremal'nykh Vneshnikh Vozdeystviyakh. Biosfera. 2010;2;2:197—213. (in Russian).

2. **Богачев А.В. и др.** Внедрение системы автоматизированного контроля остаточного ресурса совместно с системой контроля гидроамортизаторов на этапе продления срока службы энергоблока // Тяжелое машиностроение 2016. № 7—8. С. 51—58.

3. **Браганец С.А., Савчиц А.В., Севастьянов Б.Г.** Повышение надежности измерительной информации // Промышленные АСУ и контроллеры. 2011. № 2. С. 46—49.

4. **Громов Ю.Ю., Драчёв В.О., Мартемьянов Ю.Ф., Войтюк В.В., Громова А.Ю.** Контроль и повышение достоверности информации при функционировании ИС // Информация и безопасность. 2010. № 2. С. 227—232.

5. **Юнусова Л.Р., Магсумова А.Р.** Фильтрация шумов // Научный журнал. 2020. № 2(47). С. 29—33.

6. **Федотов А.В.** Теория и расчет индуктивных датчиков перемещений для систем автоматического контроля. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011.

7. **Гуляев А.П.** Металловедение. М.: Metallurgiya, 1986. С. 257—259.

8. **Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.** Теплопередача. М.: Энергия, 1969.

9. **Сивухин Д.В.** Термодинамика и молекулярная физика Т. II. Общий курс физики. М.: Наука, 1990.

10. **Веселова И.Н., Козырев В.Д.** Система контроля за тепловыми перемещениями трубопроводов // Глобальная ядерная безопасность. 2012. № 4(5). С. 82—87.

11. **Новикова С.И.** Тепловое расширение твердых тел. М.: Наука, 1974. С. 12.

2. **Bogachev A.V. i dr.** Vnedrenie sistemy Avtomatizirovannogo Kontrolya Ostatochnogo Resursa Sovmestno s Sistemoy Kontrolya Gidroamortizatorov na Etape Prodleniya Sroka Sluzhby Energebloka. Tyazheloe Mashinostroenie 2016;7—8:51—58. (in Russian).

3. **Braganets S.A., Savchits A.V., Sevast'yanov B.G.** Povyshenie Nadezhnosti Izmeritel'noy Informatsii. Promyshlennye ASU i Kontrollery. 2011;2:46—49. (in Russian).

4. **Gromov Yu.Yu., Drachev V.O., Martem'yanov Yu.F., Voytyuk V.V., Gromova A.Yu.** Kontrol' i Povyshenie Dostovernosti Informatsii pri Funktsionirovanii IS. Informatsiya i Bezopasnost'. 2010;2:227—232. (in Russian).

5. **Yunusova L.R., Magsumova A.R.** Fil'tratsiya Shumov. Nauchnyy Zhurnal. 2020;2(47):29—33. (in Russian).

6. **Fedotov A.V.** Teoriya i Raschet Induktivnykh Datchikov Peremeshcheniy dlya Sistem Avtomaticheskogo Kontrolya. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2011. (in Russian).

7. **Gulyaev A.P.** Metallovedenie. M.: Metallurgiya, 1986:257—259. (in Russian).

8. **Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S.** Teploperedacha. M.: Energiya, 1969. (in Russian).

9. **Sivukhin D.V.** Termodinamika i Molekulyarnaya Fizika T. II. Obshchiy Kurs Fiziki. M.: Nauka, 1990. (in Russian).

10. **Veselova I.N., Kozyrev V.D.** Sistema Kontrolya za Teplovyimi Peremeshcheniyami Truboprovodov. Global'naya Yadernaya Bezopasnost'. 2012;4(5):82—87. (in Russian).

11. **Novikova S.I.** Teplovoe Rasshirenie Tverdykh Tel. M.: Nauka, 1974:12. (in Russian).

Сведения об авторах:

Шилов Андрей Андреевич — аспирант, ассистент кафедры автоматизированных систем управления тепловыми процессами НИУ «МЭИ», e-mail: shilovandreyandrevich@yandex.ru

Черняев Алексей Николаевич — кандидат технических наук, заведующий кафедрой автоматизированных систем управления тепловыми процессами НИУ «МЭИ»

Information about authors:

Shilov Andrey A. — Ph.D-student, Assistant of Automated Control Systems for Thermal Processes Dept., NRU MPEI, e-mail: shilovandreyandrevich@yandex.ru

Chernyaev Aleksey N. — Ph.D. (Techn.), Head of Automated Control Systems for Thermal Processes Dept., NRU MPEI

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 21.05.2021

The article received to the editor: 21.05.2021