

УДК 621.3.088; 621.039

ON-LINE ДИАГНОСТИКА ДОСТОВЕРНОСТИ ПОКАЗАНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ С ГИДРОСТАТИЧЕСКИМИ УРОВНЕМЕРАМИ

Б.В. Лункин

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: lunbv@ipu.ru

А. А. Калашников

Акционерное общество «Русатом Автоматизированные системы управления»(АО «РАСУ»)
Россия, 109507, Москва, Ферганская ул., 25, корп. 1
E-mail: alexander_ak1987@mail.ru

Ключевые слова: диагностирование, достоверность показаний, гидростатические уровнемеры, виртуальный измерительный канал, среднеквадратическое отклонение.

Аннотация: Предложен метод диагностирования достоверности показаний измерительных каналов с гидростатическими уровнемерами на всех режимах работы энергоблоков АЭС (пуск, переходные режимы, эксплуатация). В основе метода – формирование виртуального измерительного канала уровня, в котором моделируется истинное значение уровня по результатам существующих измерений температуры и давления в технологической емкости, по показаниям дублирующих измерительных каналов и известных уравнений для определения плотностей контролируемой жидкости. В качестве оценки достоверности принято среднеквадратическое отклонение показаний диагностируемого и виртуального измерительных каналов.

1. Введение

Измерительный канал (ИК), как совокупность преобразователей, обеспечивает однозначное соответствие между значением контролируемой величины и значением параметра выходного сигнала, который является мерой этой величины.

Основной процедурой, устанавливающей исправность ИК, является поверка, которая предполагает плановое снятие полного или частичного числа его преобразователей с объектов контроля и проведение испытаний эталонными (тестовыми) сигналами той же физической природы, что и контролируемая величина. Поверка устанавливает соответствие метрологических характеристик техническим условиям, в частности, градуировочной характеристике в пределах заданной основной погрешности и дополнительных погрешностей от влияющих факторов.

Такого рода поверка ИК может быть, осуществлена непосредственно на объекте контроля в условиях эксплуатации (бездемонтажная поверка) [1, 2]. Но в этом случае для сложных, в особенности, опасных производств возникают непреодолимые ограни-

чения. Во-первых, для измерительных каналов контроля некоторых параметров, например, таких как уровень, расход, воздействие объекта контроля эталонным сигналом может быть затруднено и даже исключено не только по технической причине, но и по причине, связанной с вмешательством в технологический процесс. Во-вторых, обычно возникают сложности с получением измерительной информации о влияющих факторах.

Для практики предпочтительней, с точки зрения экономии затрат и времени, on-line диагностика метрологической достоверности текущих показаний измерительного канала, которая устанавливает соответствие текущего результата измерения требуемому значению градуировочной характеристики [1-3]. Такая диагностика использует дополнительную информацию от ИК других контролируемых величин, или от программно-технических средств, встроенных в диагностируемый ИК. В эту информацию могут быть включены результаты экспериментальных исследований и моделирования, полезные для диагностики.

В настоящей работе предложен способ диагностирования достоверности показаний измерительных каналов с гидростатическими уровнемерами. В основе способа – формирование виртуального измерительного канала уровня, в котором моделируется истинное значение уровня по результатам существующих измерений температуры и давления в технологической емкости, по показаниям дублирующих измерительных каналов и по известным уравнениям для определения плотностей контролируемой жидкости. В качестве оценки достоверности принято среднеквадратическое отклонение показаний диагностируемого измерительного канала от показаний виртуального канала.

2. Об измерительных каналах контроля уровня

Применяемые в технологических емкостях уровнемеры, в большинстве своем (в частности, на АЭС) основаны на гидростатическом методе измерения, в котором уровень определяют по разности давлений в нижней части рабочей емкости с контролируемой жидкостью и в верхней ее части. Конструктивно простые гидростатические уровнемеры, первичные измерительные преобразователи которых преобразуют линейно зависящую от уровня разность давлений в токовый сигнал, имеют существенный недостаток, обусловленный высокой чувствительностью разности давления к значениям плотности контролируемой среды. К примеру, если рабочей средой является вода, то ее плотность в технологических емкостях в зависимости от температуры и давления может изменяться от 1000 кг/м^3 до 590 кг/м^3 и менее при наличии пара с плотностью более 100 кг/м^3 . При отсутствии корректировок показаний погрешность измерения для указанных изменений плотностей может достигать более 40% от диапазона изменения уровня.

Обобщенная схема канала измерения уровня показана на рис. 1. Она содержит технологическую емкость (различного функционального назначения и типоразмеров) с расслоенной газожидкостной средой, где мерой положения границы раздела между слоями от дна емкости является контролируемый уровень L . Значения плотностей жидкости например $\rho_ж$ и паровоздушной смеси ρ_n зависят от давления P и температуры T внутри емкости. Чувствительный элемент (ЧЭ) и электронный преобразователь (ЭП) осуществляют линейное преобразование разности давлений $\Delta P = P_H - P_B$ в токовый унифицированный сигнал I , где давления P_H и P_B в нижней и верхней частях емкости. После цифрового преобразования этого сигнала в программно-техническом комплексе (ПТК) с помощью двух корректирующих коэффициентов K_1 и K_2 формируется величина $L_{ИК}$, устанавливающая в линейной форме тождественное соответствие истинному значению уровня L , т.е.

$$(1) \quad L \equiv L_{ИК} = K_1 \Delta P + K_2,$$

Если известны: давление и температура внутри емкости, зависимости от них плотностей паровоздушной смеси и жидкости, разность давлений ΔP , то двумя корректирующими коэффициентами можно установить указанное соответствие при любом значении уровня.

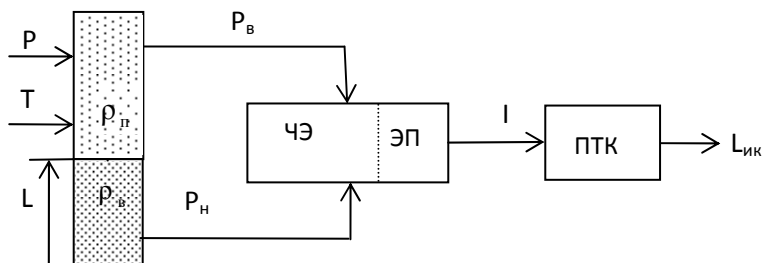


Рис. 1. Блок-схема измерительного канала уровня.

В реальных условиях соответствие показаний шкалы истинным значениям уровня (иными словами достоверность показаний) устанавливается только в двух режимах – при температуре рабочей среды и давлении в емкости, равной их значениям окружающего воздуха, и при номинальных (рабочих) значениях температуры и давления. В других режимах, в частности, переходных во время пуска энергоблоков, когда особенно необходима уверенность в достоверности показаний измерительных каналов, указанное соответствие не устанавливается.

3. Виртуальная модель для оценки метрологической достоверности показаний измерительных каналов с гидростатическими уровнемерами

Проанализируем функции преобразования на примере измерительных каналов уровня воды в парогенераторах [3]. Если соответствие уровня L и показателя шкалы $L_{ИК}$ установлены выбором коэффициентов коррекции K_1^H и K_2^H для номинальных условий, в соответствии с выражением (1) можно при тех же значениях коэффициентов найти ΔP для всех других условий, отличающихся от номинальных, именно

$$(1) \quad \Delta P = \frac{L_{ИК} - K_2^H}{K_1^H},$$

где K_1^H и K_2^H зависят от неизменяемых конструктивных параметров емкости и от плотностей ρ_v и ρ_n , функционально связанных с температурой и давлением внутри технологической емкости, значения температуры и давления которых могут быть получены измерительными каналами с применением датчиков этих величин. Однако большинство проектов не предусматривают установку этих датчиков. В этом случае приходится ограничиваться усредненными показаниями датчиков, устанавливаемых в трубопроводах на входе и выходе технологической емкости, допуская при этом дополнительную погрешность ИК давления $1 \div 1,5 \%$, и ИК температуры $\pm(2 \div 3)^\circ\text{C}$.

Конкретные значения плотностей воды и пара для известных значений температуры и давления могут быть найдены из системы уравнений международной формуляции IAPWS-IF-97 [4]. По результатам этих расчетов можно найти коэффициенты коррекции (назовем их коэффициентами модели K_{1M}) диагностируемого ИК для любых условий.

Например, для парогенератора с двухкамерным уравнительным сосудом они определяются по формулам [3]

$$(2) \quad \begin{aligned} K_{1M} &= (\rho_B - \rho_{II})^{-1} \cdot g^{-1} \\ K_{2M} &= H + h_0 \end{aligned} ,$$

где g – местное ускорение свободного падения, H – разность предельных значений верхнего и нижнего уровней воды, h_0 – расстояние от предельного нижнего уровня воды до дна емкости.

Будем различать диагностируемый (рабочий) ИК (ДиИК) с показанием уровня $L_{ДиИК}$, в котором оценивается метрологическая достоверность в процессе его эксплуатации, и множество дублирующих ИК $\{ДуИК\}$ с показаниями уровня $\{L_{ДуИК}\}$, которые предусмотрены во многих проектах энергоблоков и также находятся в рабочем состоянии. Статус рабочих и дублирующих ИК может меняться в процессе эксплуатации энергоблока. Диагностируемый и дублирующие ИК настроены так, что их показания достоверны только в указанных выше двух режимах. Однако в процессе эксплуатации некоторые ИК могут терять метрологическую достоверность показаний в тех же режимах из-за возникающих неисправностей в этих каналах. При этом в других режимах показания части дублирующих ИК уровня (вероятней всего большей части по их назначенности) близки друг к другу, а показания другой части ИК (неисправных) заметно отличаются от них. Причем равенство показаний дублирующего (если известно, что он исправный) и диагностируемого ИК, априори, не означает, что показания последнего достоверны. Равенство показаний исправного дублирующего ИК и неисправного диагностируемого ИК менее вероятно (скорее маловероятно), чем их отличие, но возможно. Например, в случае, когда погрешность неисправного преобразователя ИК компенсируется погрешностью с противоположным знаком другого неисправного преобразователя ИК.

Выбором среди них максимального числа ИК (подмножество $\{ИК_Y\}$) с близкими друг к другу показаниями уровня (подмножество $\{L_{ИК_Y}\}$) и максимального числа ИК (подмножество $\{ИК_D\}$) с близкими друг к другу расчетными по формуле (2) значениями разности давлений по показаниям уровня из подмножества $\{L_{ИК_Y}\}$ (подмножество $\{\Delta P_{ИК_D}\}$) можно сформировать множество $\{ИК_{YD}\} = \{ИК_Y\} \cap \{ИК_D\}$. Это множество назовем множеством дублирующих ИК со значениями разности давлений $\{\Delta P_{ИК_{YD}}\}$, близкими к истинным. Средняя величина $\overline{\Delta P_{ИК_{YD}}}$ значений разности давления из подмножества $\{\Delta P_{ИК_{YD}}\}$, берется за истинное значение разности давления в нижней и верхней частях емкости. При этом тождественное соответствие истинного уровня L и показаний ИК уровня L_M для других режимов может быть только при истинном значении ΔP и соответствующих для этих режимов коэффициентов коррекции K_{1M} и K_{2M} , т.е.

$$(3) \quad L \equiv L_M = K_{1M} \cdot \Delta P_{ИК_{YD}} + K_{2M} .$$

Проводя указанные процедуры в каждый момент времени, можно создать виртуальную модель оценки метрологической достоверности ИК с гидростатическим уровнем для любых технологических режимов в парогенераторе. Функциональная схема модели показана на рис. 2.

По измеренным значениям давления P и температуры T внутри емкости в блоке 1 из решения упомянутой выше системы уравнений, описанной в работе [4], определяется плотность воды ρ_B и плотность пара ρ_{II} ; в блоке 2 по найденным значениям плотностей и известным конструктивным параметрам (КП) по формулам (3) находим значения коэффициентов коррекции K_{1M} и K_{2M} .

По показаниям уровня $\{L_{ДуИК}\}$ дублирующих ИК из множества $\{ДуИК\}$ в блоке 3 формируется множество показаний уровня $\{L_{ИКy}\}$. В блоке 4 формируется множество $\{\Delta P_{ИКуд}\}$ и усредняются значения разности давлений из этого множества, в результате получим величину $\overline{\Delta P_{ИКуд}}$, соответствующую истинному значению разности давления в верхней и нижней частях емкости. В блоке 5 вычисляются показания виртуального измерительного канала по формуле (4).

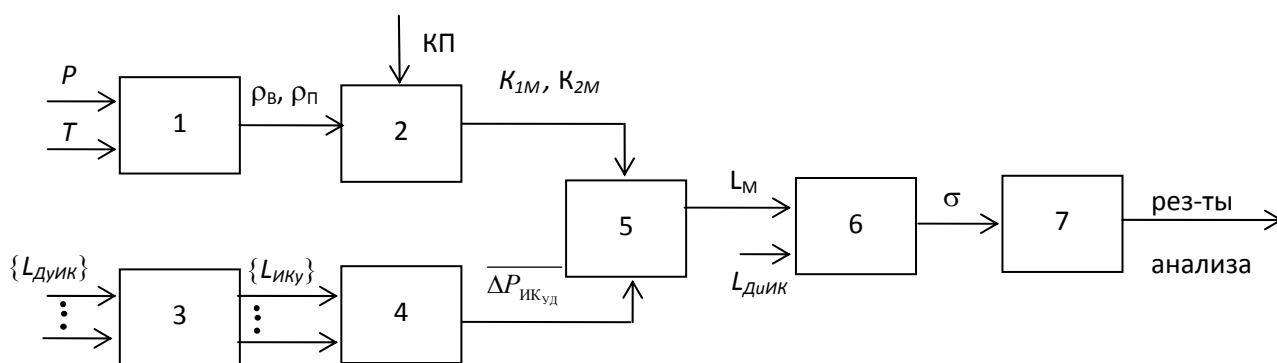


Рис. 2. Функциональная схема виртуального измерительного канала уровня.

Наличие виртуального ИК позволяет установить метрологическую достоверность показаний неисправного диагностируемого ИК даже в случае совпадения их показаний. Как следует из формулы (1) неисправности ИК искажают либо значения корректирующих коэффициентов, либо значения разности давления, либо того и другого. При установке корректирующих коэффициентов в диагностируемом ИК, равных коэффициентам виртуального ИК, возможны две ситуации. Показания диагностируемого и виртуального ИК совпадают, то это означает, что нет искажений в значениях разности давления, т.е. диагностируемый ИК исправен. Если показания этих ИК не совпадают, то это означает, что есть искажения в значениях разности давления, т.е. диагностируемый измерительный канал неисправен.

Оценка метрологической достоверности основывается на определении в блоке 6 среднеквадратичного отклонения σ показаний $L_{ДуИК}$ каждого из диагностируемого ИК уровня от истинных показаний L_M виртуального ИК.

4. Заключение

Предложен метод диагностирования метрологической достоверности показаний уровня действующих измерительных каналов с гидростатическими уровнемерами на основе создания виртуального измерительного канала. Особенность разработанной online диагностики состоит в том, что она позволяет:

- диагностировать при различных значениях температуры и давления внутри технологической емкости (в процессе пуска, переходных режимов, эксплуатации);
- установить достоверность показаний даже, если показания неисправного диагностируемого измерительного канала совпадают с истинными.

Список литературы

1. Hashemian H.M. Integrated on-line condition monitoring system for nuclear power plants // Kerntechnik. 2010. Vol. 75, No. 5. P. 231-242.
2. Лункин Б.В. Диагностирование датчиков на объектах контроля и управления // Автоматика и телемеханика. 2003. № 11. С. 183-194.
3. Калашников А.А. Корректировка показаний измерительных каналов уровня с датчиками разности давлений на АЭС // Контроль. Диагностика. 2015. № 12. С. 69-75.
4. Александров А.А. Система уравнений IAPWS-IF-97 для вычисления термодинамических свойств воды и водяного пара в промышленных расчетах. Ч. 1. Основные уравнения // Теплоэнергетика. 1998. № 9. С. 69-77.