ВОЛНОВОДНЫЙ РАДАР: ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ

БОБ БОТВИНСКИ (BOB BOTWINSKI)
rbotwinski@magnetrol.com

Завоевывающий все большую популярность промышленный волноводный радарный уровнемер (GWR) с питанием от токовой петли, которым мы пользуемся в настоящее время, появился на свет в конце 90-х годов прошлого века. Как и большинство устройств подобного типа, уровнемер Magnetrol® Eclipse® модели 706 базируется на революционной технологии, патент на которую получила Национальная лаборатория Лоуренса в Ливерморе (США), о чем в 1995 г. сообщал журнал Popular Science в статье «Радар в микросхеме за 10 долларов».

ОЖЕСТОЧЕННЫЕ БОИ НА РАННИХ ЭТАПАХ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Вначале существовала определенная настороженность в использовании радарных уровнемеров Eclipse. С какой стати потребитель станет применять прибор, работающий на высокой частоте и при этом оснащенный зондом? Бесконтактные приборы имели явные преимущества над контактными устройствами, а ультразвуковые и радарные датчики уже прочно заняли свою нишу на рынке. Установка зонда выглядела просто архаично. Но именно в зонде таился главный секрет.

Опыт, накопленный в течение 15 лет, показал, что зонд, считавшийся самым слабым местом, в действительности является сильной стороной системы. Во-первых, зонд обеспечивает путь для прохождения очень маломощного сигнала. Это обеспечивает подведение максимального количества энергии к поверхности среды, где происходит ее отражение и передача в обратном направлении к датчику для последующей обработки. Таким образом, появляется возможность измерения уровня жидких фракций таких газов, как пропан и бутан, обладающих низкой диэлектрической проницаемостью и малой удельной плотностью. Бесконтактные радары тоже могут измерять уровень этих фракций при использовании стояков/измерительных колодцев, которые, в сущности, также являются волноводными устройствами, но гораздо более дорогими. Измерение уровня этих материалов можно производить с помощью уровнемеров дифференциального давления, но их точность сильно зависит от удельной плотности измеряемой среды. Во-вторых, так как зонд является проводником, который управляет распространением сигнала, энергия не рассеивается по всему объему резервуара (что характерно для бесконтактных радаров) и не наталкивается на различные препятствия, создающие ложные измерительные сигналы.

За последние 15 лет нам удалось в полной мере раскрыть уникальные свойства волноводного радарного уровнемера Eclipse модели 706, которые позволили включить его в ассортимент наших инструментальных средств, используемых в повседневной жизни. Волноводные радары — это технология, которая медленно, но уверенно становится стандартной по всему миру для применения в технологических резервуарах и емкостях-хранилищах. Сначала она использовалась для решения ограниченного круга задач. Впоследствии, когда пользователи обрели достаточную уверенность, эта технология стала основным элементом парка приборов для измерения уровня.

В этой статье не рассматриваются простые и типовые задачи, которые, как мы считаем, могут быть решены с использованием почти любой технологии измерения уровня, включая и волноводные радары. Скорее, мы намереваемся обратить внимание читателя на специализированные области применения, где пользователи достигли особенно значительных успехов в решении довольно трудных задач в области измерения уровня и где радарные волноводные уровнемеры Eclipse стали основной технологией по мере накопления ими новых знаний и в ходе совершенствования эксплуатационных характеристик оборудования.

ОТРАЖЕНИЕ РАДАРНЫХ СИГНАЛОВ: ВСЕГДА ЛИ «БОЛЬШЕ» ЗНАЧИТ «ЛУЧШЕ»?

В международном сообществе специалистов по радарным технологиям очень часто говорили о необходимости формирования мощных сигналов (т. е. сигналов большой амплитуды, посылаемых в направлении поверхности измеряемой технологической среды).

На первый взгляд кажется, что отрицать данное утверждение совершенно бессмысленно, но так ли это? В некотором роде радарный сигнал очень похож на звук, исходящий из радиоприемника, который вы слушаете. Если нужно сделать его погромче, то вы увеличиваете амплитуду сигнала, что сделать довольно просто. Однако если на полезный сигнал наложены значительные помехи, то в результате вы получите значительные искажения. То же самое происходит в мире радаров. Зависимость между желаемым и нежелательным сигналами называется отношение «сигнал–шум» (ОСШ). Большая амплитуда — это «грубая сила», и ее значительно легче получить, чем реализовать необходимое ОСШ. На практике конструкции с большими значениями ОСШ являются более надежными, и менее

вероятно, что возникнут проблемы с нежелательными отражениями, чем у конструкций с меньшими ОСШ.

В современных конструкциях радаров стремятся увеличивать значение ОСШ, и пользователи должны иметь в виду эту малоизвестную особенность при выборе разных вариантов уровнемеров, предлагаемых на рынке. Низкая диэлектрическая проницаемость, турбулентность и другие неблагоприятные условия легче преодолеть при очень высоких значениях ОСШ, и с этой точки зрения новый уровнемер ECLIPSE модели 706 занимает лидирующее положение среди подобных приборов в промышленности.

РАБОТА В УСЛОВИЯХ ПЕРЕПОЛНЕНИЯ

Общеизвестно, что ни одна из технологий измерения уровня не является совершенной сразу для всех областей применения. Очень часто возникают проблемы с точностью измерения уровня в верхней части резервуара. Такая неточность может стать критически важным фактором, когда речь идет о возможности разлива агрессивных, высокотоксичных и других опасных технологических сред. Способность выполнять измерения в самой верхней части резервуара часто называют работой в условиях переполнения.

Такие европейские контрольные органы, как WHG или VLAREM, проводят аттестацию систем защиты от переполнения, определяемую на базе проведения испытаний и подтверждения надежности уровнемера, работающего в качестве устройства контроля переполнения. Кроме того, по результатам их анализа предполагается, что установка спроектирована таким образом, при котором в резервуаре или монтируемой сбоку измерительной камере физически не может возникнуть переполнение. Однако существуют такие области применения, в которых зонд может быть залит полностью, и уровень среды доходит до самого верха, т. е. до монтажного соединения с резервуаром (опорная поверхность фланца). Несмотря на то, что подверженные влиянию зоны зависят от области применения, в верхней части типовых зондов имеется переходная зона (или, возможно, «мертвая зона»), в которой взаимодействие сигналов может либо влиять на линейность измерений, либо, что более существенно, приводить к полной потере сигнала.

В то время как некоторые производители волноводных уровнемеров могут использовать специальные алгоритмы, чтобы сделать заключение об измеряемом уровне при возникновении нежелательного взаимного влияния сигналов и потере сигнала от фактического уровня, в усовершенствованных уровнемерах ECLIPSE моделей 705 и 706 предложены уникальные решения, использующие концепцию безопасной эксплуатации при переполнении. Важным отличием зонда с защитой от переполнения (рис. 1) является то, что его характеристическое сопротивление равномерно распределено по всей длине волновода (зонда) сверху донизу и может быть рассчитано. Это дает возможность зонду всегда выполнять измерение действительного значения уровня.

Такая конструкция зонда позволяет точно измерять уровни вплоть до фланцевого соединения с резервуаром, полностью исключая участки, где измерение невозможно. Волноводные зонды с защитой от переполнения имеют уникальную конструкцию, позволяющую устанавливать коаксиальные зонды в любом месте резервуара. Зонды с защитой от переполнения выпускаются в различных модификациях коаксиального и камерного исполнения.

ВОЛНОВОДНЫЕ РАДАРНЫЕ УРОВНЕМЕРЫ, УСТАНАВЛИВАЕМЫЕ В ВЫНОСНЫХ КАМЕРАХ, И МАГНИТНЫЕ ИНДИКАТОРЫ УРОВНЯ

Выносные камеры стали распространенным средством для измерения уровня в первую очередь благодаря совместному использованию с поплавковыми уровнемерами, а также наружному монтажу, который позволяет обеспечить изоляцию с помощью запорных клапанов. В таких системах волноводные уровнемеры часто использовались в комплекте с коаксиальными зондами. Однако в последнее время широкую популярность приобрели одностержневые зонды (в основном благодаря низкой стоимости и устойчивости к налипаниям), что

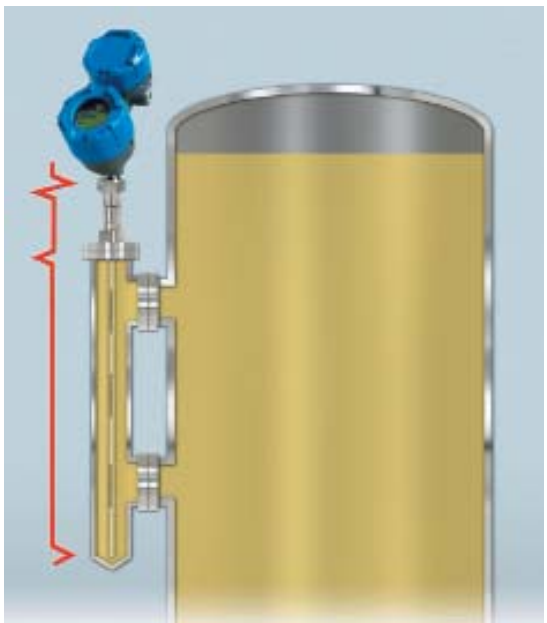

РИС. 1. ▲ Волноводный радарный зонд Eclipse 706 с защитой от переполнения

высветило ряд проблем, касающихся их эксплуатационных характеристик.

Коаксиальные зонды являются наиболее эффективными проводниками энергии микроволнового диапазона, именно поэтому, например, телевизионный сигнал передается по коаксиальному кабелю. Эффективность одностержневых зондов определяется двумя ключевыми аспектами:

- При возбуждении сигнала происходит значительное рассогласование комплексного сопротивления в верхней части зонда, что приводит к созданию помех, оказывающих влияние на правильность обнаружения уровня поверхности среды.
- Распространение энергии по одностержневому зонду является наименее эффективным по сравнению с другими видами волноводов, что не очень хорошо сказывается на оптимальности эксплуатационных характеристик.

Обе эти проблемы были решены в уровнемере ECLIPSE модели 706, где одностержневой зонд очень хорошо согласован по комплексному сопротивлению с типовыми измерительными камерами, широко применяемыми в различных технологических установках. При этом отсутствует рассогласование сопротивления в верхней части зонда, и при правильном монтаже комбинация одностержневого зонда и измерительной камеры становится коаксиальной системой, обеспечиваю-

щей превосходное распространение сигнала.

В самых последних модификациях уровнемеров ECLIPSE модели 706 уже предусмотрено такое согласование зонда и измерительной камеры, что позволило получить замечательные характеристики при низкой стоимости одностержневого зонда.

УДАЛЕННЫЕ ПЛОЩАДКИ И УСТАНОВКИ С ПИТАНИЕМ ОТ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Одна из сфер применения, набирающая все большую популярность, носит общее название «установки с питанием от солнечных батарей». Это относится к удаленным, часто необслуживаемым площадкам, на которых установлены системы, работающие на солнечной энергии с резервными батареями питания. На первый взгляд, повышенные требования к эксплуатационным параметрам уровнемера не столь очевидны. Такие системы, исходя из принципа своего построения, имеют три основных критерия, которым они должны отвечать: малая потребляемая мощность, высокая скорость включения и высокое быстродействие.

Требование малой потребляемой мощности сводится к способности работы от источника с минимальным напряжением 12 В постоянного тока (240 мВт при 20 мА). Это можно обеспечить напрямую или с помощью цифровой линии связи HART® или MODBUS®, имеющей фиксированную и достаточно малую величину выходного тока, например 8–10 мА. В этом случае потребление энергии можно контролировать с достаточной степенью точности (в частности, с помощью многоканальной системы передачи данных).

Высокая скорость включения является очень важным фактором для использования в установках с питанием от солнечной энергии. Учитывая, что площадки с оборудованием расположены на удалении, непрерывная передача информации обычно не является необходимым требованием. Часто достаточно обновления данных один раз в час или даже в сутки. Это позволяет строить высокоэффективные установки, потребляющие минимальное количество энергии. Настоящей проблемой уровнемеров является их способность возвращаться в рабочее состояние после выключения (режим сна) и последующего включения питания так, чтобы была возможность производить надежные измерения в течение 15–30 с перед новым переходом в режим сна для ожидания следующего цикла измерений. В последних конструкциях волноводных уровнемеров можно выполнить цикл включения питания на период менее 15 секунд, что очень хорошо подходит для их применения в установках подобного типа.

ИЗМЕРЕНИЕ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА СРЕД С ПОМОЩЬЮ ВОЛНОВОДНЫХ РАДАРНЫХ УРОВНЕМЕРОВ

Многие отрасли промышленности сталкиваются с проблемами измерения границы раздела сред в установках, которые содержат две несмешивающиеся жидкости с разными значениями удельной плотности. В нефтегазовой промышленности широко распространены резервуары, содержащие нефть и воду, а их разделение является очень важной задачей. Вода может быть основной жидкостью, которая сопутствует углеводородам, находящимся в исходных геологических пластах, или являться незначительной частью, образовавшейся в результате конденсации на протяжении многих лет. В большинстве случаев наиболее предпочтительно измерять как уровень углеводородов, которые поднимаются вверх, так и уровень воды, опускающейся на дно.

Волноводный радарный уровнемер ECLIPSE может эффективно измерять уровень верхней жидкости и границу раздела сред. В связи с тем что от поверхности среды с низкой диэлектрической проницаемостью отражается только часть энергии импульса, другая ее часть продолжает двигаться к концу зонда, проходя через слой верхней жидкости. Оставшаяся часть энергии первоначального импульса снова отражается от поверхности жидкости с большей диэлектрической проницаемостью. В типовом случае требуется, чтобы верхняя жидкость имела диэлектрическую проницаемость менее 10, а диэлектрическая проницаемость нижней жидкости должна превышать 15. Традиционной является емкость, в которой нефть расположена поверх воды, и верхний слой нефти не проводит электрический ток ($\varepsilon r \approx 2{,}0$), а нижний слой воды, наоборот, обладает высокой электропроводностью ($\varepsilon r \approx 80$). Волноводный радарный уровнемер ECLIPSE может достаточно точно обнаруживать верхние слои толщиной до 2" (50 мм), в то время как максимальная толщина верхнего слоя ограничивается только длиной зонда.

Еще одним значимым фактором при измерении границы раздела сред являются эмульсионные слои. В системах, где имеется эмульсионный слой (также называемый подстилочным) толщиной 4" и менее, уровнемер ECLIPSE будет обнаруживать уровень границы раздела между эмульсионным слоем и водой. Если толщина эмульсионного слоя превышает 4", уровнемер ECLIPSE, скорее всего, определит верхнюю границу эмульсионного слоя (границу между нефтью и эмульсионным слоем).

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ В ИНТЕРФЕЙСЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВАХ

Применение персональных компьютеров (ПК) стало несомненным удобством для пользователей измерительных приборов. Возможность производить сложную калибровку и дистанционную диагностику неисправностей означает оптимизацию эксплуатационных параметров и снижение времени простоя. PACT*ware*™ представляет собой программу из семейства коммуникационных интерфейсов администрирования промышленных устройств (FDT), взятого на вооружение многими пользователями. Диспетчеры типа устройств (DTM) работают в формате программы PACT*ware*. В этих DTM производитель предоставляет информацию об уровнемерах, которая, по его мнению, наиболее полно описывает то или иное устройство. Это имеет огромное значение при использовании более сложных инструментальных средств программного обеспечения.

По мере того как уровнемеры и программное обеспечение, поставляемое в комплекте с ними, становятся все совершеннее, пользователь хочет, чтобы производитель предоставлял в их распоряжение простой и интуитивно понятный интерфейс. DTM компании MAGNETROL, входящий в комплект уровнемера ECLIPSE модели 706, является примером логичного подхода, который концентрируется на том, как потребитель использует

информацию, а не на том, как уровнемер ее формирует.

В новом уровнемере ECLIPSE модели 706 вся информация удобно распределена по разделам:

- Главный экран (на индикаторной панели) содержит всю основную информацию, полученную в конкретный момент времени.
- Меню настройки прибора содержит все параметры, подлежащие настройке.
- Мастер настройки предлагает минимальный набор настраиваемых параметров для быстрого запуска прибора в работу.
- Диагностика предоставляет все средства для диагностики и поиска неисправностей прибора.
- На рис. 2 показано расположение информации на главном экране. Основными элементами являются:
- Заголовок, который содержит всю ключевую информацию и всегда показан на экране (рис. 3).
- Три вкладки для вывода главного экрана, меню настройки прибора и диагностики:
  - на главном экране в удобном графическом формате представлены основные переменные и диагностическая информация (рис. 4);
  - меню настройки прибора предлагает набор инструментальных вкладок для настройки (рис. 5);
  - меню диагностики открывает другой набор вкладок, помогающих найти неисправность (рис. 6).

При помощи двойного щелчка мышью можно перейти в любой раздел с информацией об уровнемере. Кроме того, имеется всплывающая справка, доступная при наведении курсора на любое поле с информацией.

РИС. 3. ▶ Заголовок главного экрана

РИС. 4. ▶ Информация, представленная на главном экране

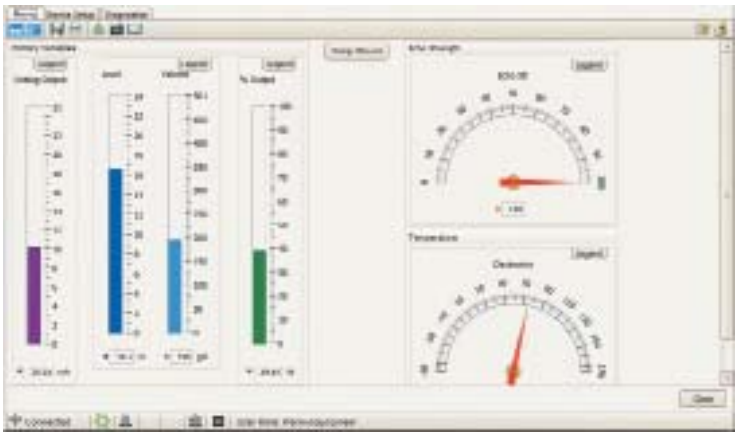

РИС. 5. ▶ Меню настройки прибора

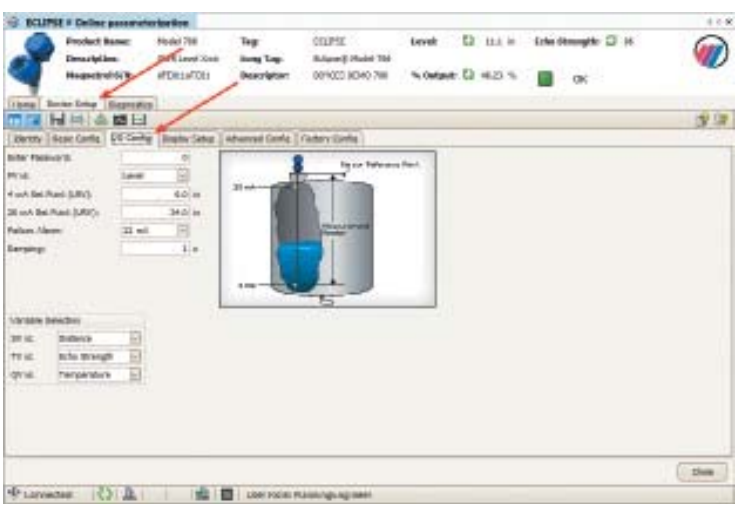

РИС. 6. ◀ Меню диагностики

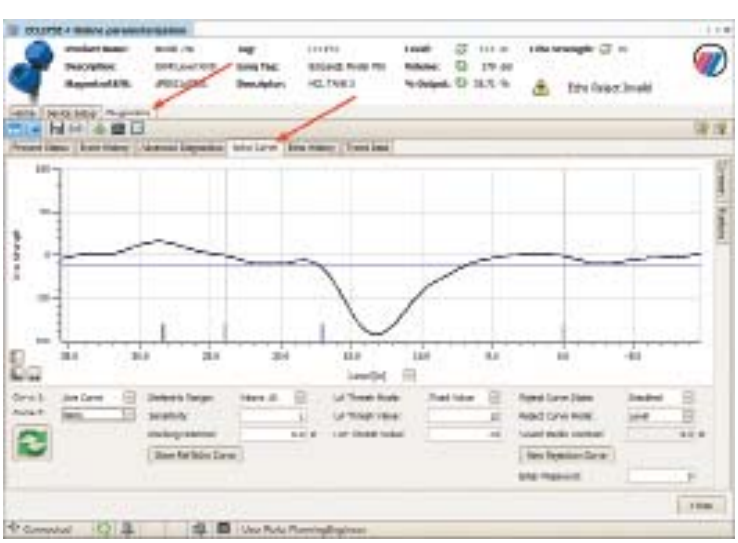

РИС. 2. ▼ Расположение информации на главном экране

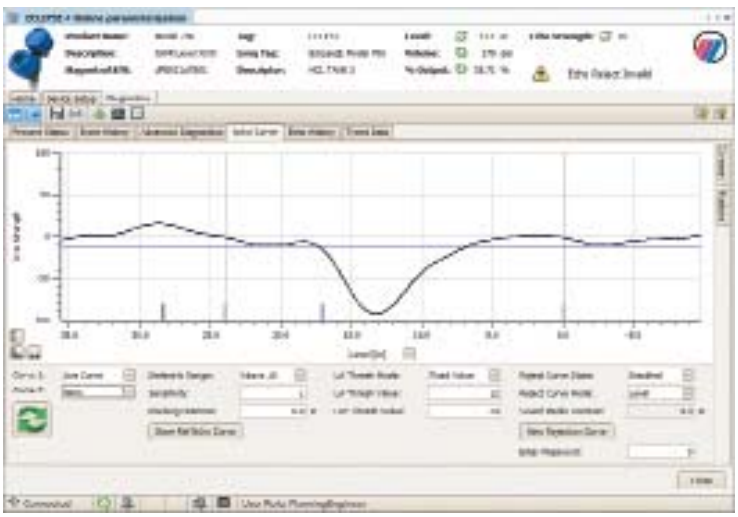

РИС. 7. ▶ Кривая эхо-сигнала

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЗАХВАТ ЭХО-СИГНАЛА

Одним из самых важных инструментов, используемых для поиска неполадок в установках с радарными уровнемерами, является кривая эхо-сигнала. Графическое представление эхо-сигнала, формируемое уровнемером (рис. 7), может о многом рассказать специалистам, которые имеют соответствующую подготовку в области интерпретации диаграмм. Этот график представляет собой снимок «здоровья» уровнемера в любой заданный момент времени. Он позволяет как бы заглянуть внутрь резервуара.

Основной проблемой графиков эхо-сигналов является их снятие с определенной периодичностью. Однако большинство таких проблем возникает в случае, когда установка обслуживается бригадами сокращенной численности и никто не ведет наблюдения за резервуаром. К тому времени как специалист будет иметь возможность исследовать какую-либо неполадку, сигнал неисправности будет снят и станет невозможно понять, почему она произошла или, что еще более важно, когда она возникнет снова.

В связи с тем что кривая эхо-сигнала имеет очень большое значение для поиска неисправностей в приборе, очень важно производить ее съем именно в тот момент, когда возникает проблема. Усовершенствованный уровнемер ECLIPSE модели 706 облегчает эту процедуру. Уровнемеры данной конструкции поставляются с завода настроенными так, чтобы съемка кривых эхо-сигнала производилась по времени (с помощью встроенных часов реального времени) или при возникновении определенных событий (например, таких как потеря или низкий уровень отраженного сигнала). Уровнемер имеет возможность сохранять некоторое количество кривых эхо-сигнала во встроенной памяти. Впоследствии эти кривые могут быть загружены в компьютер с установленной на нем программой PACT*ware*. У пользователя есть возможность отправить эту информацию на завод-изготовитель для исследования специалистом с целью оказания помощи в поиске неисправностей. При таком подходе проблему можно решить гораздо быстрее и свести время простоя к минимуму.

NE107

В течение многих лет уровнемеры могли выдавать информацию только по токовой петле 4–20 мА, что позволяло отследить всего лишь изменение главной переменной. Интеллектуальные (построенные на базе микропроцессоров) устройства сняли такое ограничение, обладая способностью производить самодиагностику и передавать информацию по цифровым сетям, таким как HART, Profibus и Foundation fieldbus. Большинство производителей поделило всю диагностическую информацию на три основные категории: неисправность (наиболее важная), предупреждение (менее важная) и информация.

Международная ассоциация NAMUR, занимающаяся вопросами промышленной автоматизации, в течение многих лет оказывает значительное влияние на улучшение различных частей этой сферы деятельности. Рекомендации NAMUR NE43, в которых старая токовая петля 4–20 мА заменена новым рабочим диапазоном 3,8–20,5 мА, где сигнал низкого аварийного уровня соответствует току 3,8 мА, а высокого аварийного уровня — более 21 мА, теперь широко используются в качестве «стандарта де-факто» большинством производителей.

NAMUR еще раз подняла планку, выпустив новые рекомендации NE107 для диагностической информации (самоконтроль и диагностика полевых устройств). Новые рекомендации NE107 предлагают деление на категории по степени важности, представленное в таблице. ●

ТАБЛИЦА. КАТЕГОРИИ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ СОГЛАСНО NE107

	Неисправность	Неправильные выходные данные из-за неисправности
	Проверка работоспособности	Выходные данные временно неправильны из-за выполнения другого вида работ (например, техническое обслуживание)
	Выход за пределы допуска	Работа за указанными пределами диапазона измерений
	Требуется техническое обслуживание	Выходная информация правильна, но требует внимания специалиста
	ОК	Диагностика не выявила каких-либо проблем