

Н.К.РЕЗНИЧЕНКО, д.т.н., проф. УИПА, г.Харьков;

О.М.ДУБОВЕЦЬ, канд. техн. наук, доц. УИПА, г.Харьков.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПРИНЦИПА ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ПЕРВИЧНЫХ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

У статті розглядається використання диференціального принципу при конструюванні первинних перетворювачів різних технологічних параметрів.

In the article, using of differential principle is examined for constructing of primary transformers of different technological parameters.

Известно, что дифференциальные преобразователи обладают рядом достоинств, которые обеспечивают их широкое использование в средствах и схемах автоматизации:

- высокая чувствительность к изменению входного сигнала;
- наличие нулевого значения выходного сигнала в равновесном состоянии и «фазочувствительности» при противоположном нарушении равновесного состояния;
- возможность исключения задатчика из систем регулирования и т.д.[1],[2].

Однако указанные преимущества дифференциальных преобразователей превращаются в «недостатки», если входной сигнал средства измерения зависит одновременно от нескольких параметров (как, например, перемещение поплавка уровнемера зависит одновременно от изменения уровня и плотности контролируемой среды).

Авторы исследовали вопрос возможности использования дифференциального принципа при конструировании первичных преобразователей различных технологических параметров (уровня, расхода, плотности и др.) с целью исключения влияния на их выходной сигнал сопутствующих свойств и параметров контролируемой среды, которые чаще всего проявляются в виде методических погрешностей.

Дифференциальные преобразователи содержат два идентичных чувствительных элемента, включенных встречно, что обеспечивает и наличие нулевого выходного сигнала при «заданном» значении свойства (параметра) контролируемой среды, и их «фазочувствительность» при отклонении параметра от заданного значения. Вследствие этого при разработке дифференциальных первичных преобразователей свойств и технологических параметров контролируемых сред предполагалось, что их конструкции должны также содержать два чувствительных идентичных элемента, схема включения которых должна обеспечивать и наличие нуля и

фазочувствительность, и независимость выходного сигнала от изменения конкретного сопутствующего свойства или параметра исследуемой среды.

При этом рассматривались и анализировались все возможные комбинации выходных сигналов двух чувствительных элементов, образующих совместно первичный преобразователь, обеспечивающие предположительно независимость их общего выходного сигнала от изменения сопутствующего свойства (параметра) контролируемой среды.

В процессе исследования (математического и графического моделирования) были определены варианты соединения и преобразования выходных сигналов физически аналогичных чувствительных элементов первичных преобразователей различных средств измерения, при которых их выходные сигналы не зависят от изменения сопутствующего свойства среды – ее плотности. Обоснование возможности использования указанных вариантов приведено ниже.

Известно, что при измерении уровня жидких сред поплавковыми уровнемерами, реализуется закон

$$P = HS \rho g, \quad (1)$$

где P – выталкивающая сила, действующая на поплавок; H – глубина погружения поплавка в жидкую среду; ρ – плотность контролируемой среды; g – ускорение силы тяжести.

Из (1) следует, что на результаты измерения уровня жидкой среды в объекте значительное влияние оказывает ее плотность, при этом погрешность измерения (методическая) прямо пропорциональна изменению плотности среды. Предполагалось, что можно устранить зависимость результатов измерения уровня от плотности среды путем введения корректирующего сигнала, который должен формироваться вторым чувствительным элементом.

Очевидно, что при использовании корректирующего элемента необходимо непрерывно измерять плотность контролируемой среды и вводить коррекцию в результаты измерения уровня, при этом введение коррекции не должно нарушать метода, на основе которого уровень среды определяется. Это возможно только в том случае, когда корректирующая поправка не будет изменять вид формулы (1), независимо от значения ρ – плотности контролируемой жидкой среды. Математическое моделирование показало, что условие выполнимо в том случае, если вводить коррекцию в выходной сигнала чувствительного элемента, измеряющего уровень, относительно показаний уровнемера при минимальной плотности среды, при которой осуществлялась градуировка шкалы уровнемера.

Действительно, если шкала уровнемера проградуирована на жидкой среде с минимально возможной плотностью, то (1) можно записать в виде $P = HS \rho_{\min} g$. Если в процессе измерения уровня плотность среды увеличится и

станет, например, равной ρ_{mak} , а в выходной сигнал поплавкового уровнемера будет введена корректирующая поправка вида $\rho_{\text{min}}/\rho_{\text{mak}}$, то результат измерения уровня будет равен

$$P = HS \rho_{\text{mak}} g \frac{\rho_{\text{min}}}{\rho_{\text{mak}}} = HS \rho_{\text{min}} g = H \cdot k, \text{ где } k = S \rho_{\text{min}} g = \text{const},$$

т.е. при любой плотности контролируемой среды показания поплавкового уровнемера с корректирующим устройством будут пропорциональны только ее уровню – не будут зависеть от плотности среды.

Естественно, что рационально создавать первичный преобразователь уровня, состоящий из двух однотипных элементов, выходные сигналы которых преобразованы так, чтобы их совместный выходной сигнал был пропорционален только уровню контролируемой жидкой среды. Поэтому в процессе дальнейших исследований математически моделировались два выходных сигнала однотипных элементов, при использовании которых плотность среды исключалась полностью. Очевиден вариант исключения плотности среды из результатов измерения поплавкового уровнемера, первичный преобразователь которого выполнен из двух поплавков, выходные сигналы которых представлены в виде отношения

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{H_1 S_1 \rho g}{H_2 S_2 \rho g} = \frac{H_1 S_1}{H_2 S_2}$$

(2)

Из (2) следует, что если при изменении уровня жидкой среды будет изменяться значение соотношения P_1/P_2 , то его значение будет однозначно характеризовать текущее значение уровня. Данное утверждение вытекает из формулы (3)

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{HS\rho g}{(H - \Delta H)S\rho g} = \frac{H}{H - \Delta H} = K_H \quad (3)$$

из которой следует, что чем больше H , тем меньше K_H и наоборот.

Следовательно, первичный преобразователь поплавкового уровнемера должен состоять из двух поплавков разной высоты, одинаковой площади поперечного сечения, погруженных на разную глубину, вследствие чего отношение выходных сигналов будет зависеть только от уровня контролируемой среды. Необходимо при этом отметить, что при наличии такого первичного преобразователя уровнемер, имеет два стационарных чувствительных элемента, и может измерять уровень в широком диапазоне его изменения [4].

Третий вариант исключения методической погрешности, когда первичный преобразователь состоит из двух физически подобных чувствительных элементов, с позиций теории реализуем в том случае, когда

чувствительные элементы полностью реализуют дифференциальный принцип. Когда первичный преобразователь средства измерения при заданном значении измеряемого параметра контролируемой среды имеет нулевой выходной сигнал в результате равенства выходных сигналов чувствительных элементов, включенных встречно, но противоположные по фазе сигналы при отклонении значения параметра среды в противоположных направлениях от заданного значения.

Если чувствительными элементами первичного преобразователя являются, например, плавающие поплавки, то их противодействие проще всего осуществить посредством размещения на противоположных плечах рычага, установленного на оси. Указанному состоянию будет соответствовать равенство

$$(P_1 = H_1 D_1^2 \rho g) = (P_2 = H_2 D_2^2 \rho g), \quad (4)$$

где D_1 и D_2 диаметры первого и второго цилиндрических поплавков, при этом из (4) следует, что равенство определяется конструктивными параметрами и положениями чувствительных элементов в жидкой среде, когда $H_1 D_1^2 = H_2 D_2^2$, т.е. когда поплавки имеют разные высоты и разные диаметры и погружены в жидкую среду так, что при каком-то уровне обеспечивается условие (4). Очевидно при этом, что в данном случае поплавковый уровнемер должен непрерывно отслеживать равновесное состояние своего первичного преобразователя, но в случае создания следящей системы полностью исключается зависимость результатов измерения от плотности контролируемой среды в любом диапазоне измерения[3].

Четвертый вариант предполагает создание первичного преобразователя поплавкового уровнемера, основанного на результатах математического моделирования выходных сигналов его чувствительных элементов, когда указанные элементы, находящиеся в статическом состоянии, позволяют измерять уровень жидкой среды во всем диапазоне его изменения, полностью исключая зависимость результатов измерения от изменения плотности контролируемой среды. По существу в данном случае определялся вариант усовершенствования конструкции поплавкового уровнемера, основанного на зависимости (3), так как указанный вариант исключал из зоны контроля уровень среды ΔH .

В результате моделирования было определено условие

$$(P_1 = HS_1 \rho g) = (P_2 = HS_2 \rho g), \quad (5)$$

из которого следует, что при равенстве глубины погружения H отношение P_1 / P_2 однозначно определяется отношением S_1 / S_2 , вследствие чего выполнение формы поплавков с разной формой позволяет измерять

уровень жидкой среды по значению P_1/P_2 при любом изменении ее плотности и любом диапазоне изменения уровня [5],[6].

Из вариантов, которые были рассмотрены выше, следует, что наличие двух однотипных чувствительных элементов необходимо для того, чтобы в процессе измерения найти способ «уничтожения» влияния сопутствующего параметра (свойства) на результат измерения, что можно первично осуществить посредством использования математического моделирования. В связи с этим возникает вопрос о возможности разработки первичного преобразователя, который обладает способностью самонастройки на измеряемый параметр, исключая в процессе самонастройки зависимость выходного сигнала от значения сопутствующего параметра (свойства).

Если первичным преобразователем является плавающий поплавок, то он в соответствии с законом Архимеда должен копировать уровень жидкой среды при постоянном в нее погружении, которое описывается формулой $H_{\text{пг}} = (P = G) / S \rho g$, где G – вес поплавка, а $H_{\text{пг}}$ - глубина погружения поплавка в жидкую среду. В данном случае уровень жидкой среды в объекте определяется по выбранной на поплавке координате, положение которой зависит, как следует из формулы, от плотности контролируемой среды. Указанную зависимость можно устранить в том случае, если создать поплавок «самонастраивающийся» только на уровень контролируемой среды. Учитывая, что при увеличении плотности среды поплавок всплывает (глубина его погружения в жидкость уменьшается), а при уменьшении плотности глубина его погружения в жидкость увеличивается, то очевидно, что контролируемая координата поплавка при увеличении плотности должна перемещаться вниз, а при уменьшении плотности - подниматься вверх. По существу данный поплавок должен иметь две «степени» свободы, первая из которых однозначно привязана к уровню контролируемой среды, вторая – обеспечивает изменение положения контролируемой координаты поплавка при изменении плотности среды. Такими свойствами обладает поплавок со смещенным центром тяжести, что обеспечивает ему наклон относительно вертикали. Данный поплавок при увеличении плотности жидкой среды «всплывает» и одновременно изменяет угол наклона к горизонту. Указанное позволяет выбрать такие конструктивные параметры поплавка, которые обеспечивают при любом изменении плотности контролируемой среды неизменность расстояния контролируемой координаты поплавка относительно уровня жидкой среды – независимость выходного сигнала поплавка от изменения плотности среды.

В данной работе все иллюстрации математических представлений выходных сигналов привязаны к поплавковым уровнемерам, вернее к первичным преобразователям поплавковых уровнемеров (сигнализаторов и регуляторов). Однако приведенные принципы устранения зависимости результатов измерения от сопутствующих свойств и параметров контролируемых сред (методических их погрешностей) могут быть

использованы при разработке первичных преобразователей любых средств измерения [7].

Авторы использовали полученные результаты при разработке плотномеров, уровнемеров и расходомеров, основанных на различных методах измерения, математические выражения которых «автоматически» вносили методическую погрешность в результаты измерения при изменении конкретного сопутствующего параметра (свойства). Указанные погрешности на первых этапах устранялись путем преобразования математических выражений к виду, когда методическая погрешность исключалась. Затем выбирались средства, позволяющие реализовать модернизированный выходной сигнал первичного преобразователя, что приводило к созданию средства измерения, выходной сигнал которого был связан только с изменением контролируемого параметра.

Выводы.

1. В настоящее время выходной сигнал многих средств измерения (плотномеров, вискозиметров, расходомеров и др.) содержит методическую погрешность, вызываемую зависимостью указанного сигнала от свойства или параметра контролируемой среды функционально связанного с измеряемым свойством или параметром.

2. Методические погрешности могут быть устранены путем конструирования первичных преобразователей средств измерения «дифференциального принципа» - из двух физически однотипных элементов, выходные сигналы которых соединены и преобразованы так, что исключают методическую погрешность из результатов измерения.

3. Выбор способов соединения и последующего преобразования выходных сигналов чувствительных элементов «дифференциальных» преобразователей средств измерения рационально определять методом математического моделирования, используя в качестве исходного материала формулы методов, на основе которых созданы чувствительные элементы.

Список литературы: 1. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств: Учебник для вузов. - 3.- изд. – М.: Машиностроение, 1983. – 427с. 2. Гинзбург И.Б. Автоматическое регулирование и регуляторы в промышленности строительных материалов. Учебник. Изд. 3-е. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1985, 256с. 3. А.с. СССР № 620824 «Чувствительный элемент датчика уровня жидких сред» G01F 23/06, G05D 9/00. Бюл. № 31. 25.08.78. 4. А.с. СССР № 66919 «Уровеньмер» G01 f 23/08. Бюл. № 23. 26.06.79. 5. Патент України на корисну модель № 25364 «Рівнемір для рідини». МПК (2006). G01F 23/14. Бюл № 12, 10.08.2007. 6. Патент України № 18869 «Регулятор рівня рідких середовищ». МПК (2006). G01F 23/14. Бюл. № 11. 15.11.2006. 7. Патент України № 44423 Пристрій для сигналізації швидкості розшарування рідкої і твердої фаз дисперсних середовищ». МПК (2009). G01F 23/00. Бюл.№ 19. 12.10.2009

Поступила в редколлегию 20.09.2010