

Для обеспечения высокой чувствительности предложенного способа для контроля плотности необходимо, чтобы Z_{m1} максимально отличался от Z_{m2} , при этом Z_{m1} должен иметь сопротивление, максимально близкое к акустическому сопротивлению жидкости. Алгоритм измерений при нижнем расположении акустического преобразователя, в целом, похож ранее описанный алгоритм с реперными отражателями за исключением того, что появляются дополнительные отражения от промежуточных границ сред. Интервалы, между которыми расположены границы сред, в определении скорости звука, плотности и вязкости не участвуют.

Данный метод позволяет одним датчиком получать несколько параметров жидкости для каждой её фракции при расслоении.

Список использованных источников

- 1.Борминский, С.А. Многофункциональные устройства акустического контроля геометрических параметров труб и уровня жидкости / С.А. Борминский // Издательство Самарского научного центра РАН. – 2022. – 92 с.
- 2.Borminskiy, S.A. Metrological Analysis of the System for Complex Control of the Level, Density and Viscosity of Multi-Layer Liquids in Tanks / S.A. Borminskiy, A.V. Parshina // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon. – 2020.
- 3.Borminskiy, S.A. Methods of acoustic control of reservoir liquid level for portable measuring devices / S.A. Borminskiy // E3S Web of Conferences 371, 03027 (2023) doi.org/10.1051/e3sconf/202337103027

УДК 621.317.08

ПРИНЦИП ДВУХКАНАЛЬНОСТИ КАК ОСНОВА НОВЫХ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ИНВАРИАНТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

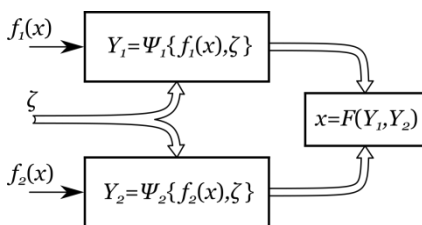
В.Н. Нестеров

«Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королева», г. Самара

История возникновения, развития и трансформация принципа двухканальности в теории систем насчитывает более восьми десятков лет. В автоматике первая публикация в этой области связана с именем профессора Г.В. Щипанова [1]. В данной работе Г.В. Щипанов впервые в мире поставил задачу синтеза регулятора исходя из «условия компенсации» внешних возмущений. Следует отметить разгоревшуюся в то время в научной среде ожесточенную дискуссию, в которой, с одной стороны, отстаивался этот новый подход в теории систем автоматического регулирования, с другой, – неприятие и утверждение невозможности реализации условий инвариантности в регуляторах. Несмотря на негативные отзывы сформированной постановлением Президиума АН СССР комиссии по оценке работы Г.В.

Щипанова академики В.С. Кулебакин и Н.Н. Лузин высказали особое мнение, указав на необходимость дальнейших исследований по «условиям компенсации» [2]. Почти через 10 лет появилась публикация В.С. Кулебакина «О применимости принципа абсолютной инвариантности в физических реальных системах» [3]. Цикл дальнейших работ [4–6] показал справедливость идей Г.В. Щипанова, а в 1966 г. результаты работы Г.В. Щипанова были признаны научным открытием с приоритетом от апреля 1939 г. [2].

Идея компенсации возмущений в измерительном устройстве впервые нашла отражение в статье профессора А.Г. Ивахненко, которая опубликована в 1960 году в журнале «Автоматика» [7]. В данной работе рассмотрены условия достижения инвариантности уравновешенного измерительного моста относительно нестабильности источника питания. Вопросы повышения точности измерительных устройств за счет компенсации влияющих факторов на основе принципа инвариантности системно сформулированы в 1976 году в монографии академика Б.Н. Петрова с соавторами [8]. Это были первые публикации, в которых авторы, по всей видимости, еще не осознавали высокую значимость такого подхода для общей теории измерений. В последующие годы данное направление в теории измерений получило дальнейшее развитие [9–14]. Как уже упоминалось [15,16], принцип двухканальности в общем случае может быть проиллюстрирован следующей структурной моделью.



$f_1(x)$ – сигнал на входе первого канала; $f_2(x)$ – сигнал на входе второго канала;

ζ – возмущающие воздействия; $Y_1 = \psi_1\{f_1(x), \zeta\}$ – функция преобразования первого

измерительного канала; $Y_2 = \psi_2\{f_2(x), \zeta\}$ – функция преобразования второго измерительного

канала; $X = F\{Y_1, Y_2\}$ – результирующая функция преобразования системы

Рисунок 1 – Структурная модель, реализующая принцип двухканальности

В данной модели возмущающее воздействие ζ «симметрично» передается в оба канала преобразователя, а информативные сигналы $f_1(x)$ и $f_2(x)$ поступают в каналы «не симметрично», то есть $f_1(x) \neq f_2(x)$.

На этой основе построен новый класс двухканальных измерительных преобразователей в составе неравновесных измерительных мостов и делителей напряжения [17,18], который по существу является лишь первым

шагом применения теории инвариантности в измерительной технике.

Способ организации асимметрии в каналах имеет существенное значение для физической реализуемости алгоритма $x = F\{Y_1, Y_2\}$ и является метообразующим. Если модель, представленную на рисунке 1, модифицировать путем закрытия информативного входа одного из каналов, можем прийти к варианту, показанному на рисунке 2.

Кажущаяся простота последней модели не должна умалять ее значимости и далеко идущих последствий применения. Действительно, при исследовании глубокого космоса без участия человека автономный аппарат может столкнуться с непредсказуемыми априори внешними возмущениями вплоть до неизвестных человечеству состояний материи. В таких случаях никакие консервативные методы защиты от них, скорее всего, не окажутся эффективными в силу неизвестной априори природы воздействия на электронные компоненты измерительных систем, систем ориентации и т.д.

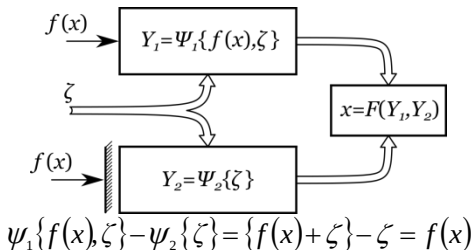


Рисунок 2 – Структурная модель, реализующая, в частности, дифференциальный метод

Теория инвариантности, напротив, дает выход на решение задач очувствления автономных аппаратов (роботов), предназначенных для функционирования на всех этапах существования в условиях, предположить которые человек в силу ограниченности знаний о среде функционирования не может. А это шаг в далекое будущее, когда, надеюсь, перед человечеством встанет задача колонизации глубокого космоса. Последняя модель реализована, например, в способе автономных измерений физических величин, нацеленном на очувствление робототехнических систем третьего поколения, предназначенных для функционирования в условиях не селективности первичных измерительных преобразователей к неинформативным компонентам воспринимаемых системой физических величин [19].

Рассмотренный подход на основе принципов теории инвариантности имеет очень серьезное преимущество перед другими. Он не только позволяет повысить точность измерительных устройств в ненормальных условиях эксплуатации, но дает надежду на приемлемые результаты измерений в условиях, когда характер и физические принципы влияющих

факторов априори неизвестны.

Вынесенный в название принцип двухканальности является необходимым, но не достаточным условием обеспечения компенсации возмущающих воздействий на измерительные устройства. Как показал опыт, объединение необходимых и достаточных условий, направленных на компенсацию тех или иных возмущающих факторов, позволяет сформулировать и реализовать способы и даже методы создания новых классов инвариантных измерительных систем [20-22], необходимость которых диктуется возникновением новых задач и сфер использования.

Список использованных источников

1. Щипанов Г.В. Теория и методы построения автоматических регуляторов // Автоматика и телемеханика. 1939. №1 С.4-37.
2. Щипанов Георгий Владимирович. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. URL: <https://www.ipu.ru/node/12143> (дата обращения: 05.03.2026).
3. Кульбакин В.С. О применимости принципа абсолютной инвариантности в физических реальных системах // ДАН СССР. 1948. Т. 60. № 2. С. 231–234.
4. Петров Б.Н. Принцип инвариантности и условия его применения при расчёте линейных и нелинейных систем // Теория непрерывных систем: тр. 1 междунар. конф. ИФАК. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 259–275.
5. Петров Б.Н., Кухтенко А.И. Структуры абсолютно инвариантных систем и условия их физической реализуемости // Теория инвариантности в системах автоматического управления: тр. всесоюз. совещания. М.: Наука, 1964. С. 24–28.
6. Хрусталев М.М. Необходимые и достаточные условия слабой инвариантности // Автоматика и телемеханика. 1968. № 4. С. 17–22.
7. Ивахненко А.Г. Связь теории инвариантности с теорией стабильности измерительных систем // Автоматика. 1960. №5. С.35–40.
8. Принцип инвариантности в измерительной технике / Б.Н. Петров [и др.]. М.: Наука, 1976. 244 с.
9. Nesterov V.N. Invariant parametric transducers with linear conversion functions // Measurement Techniques. 1993. Vol.36. Issue 3. P.329-334.
10. Нестеров В.Н. Инвариантные делители напряжения для измерительных приборов // Приборы и системы управления. 1995. №12. С.30-31.
11. Nesterov V.N. Double-channel parametric transducers with linear conversion functions // Measurement Techniques. 1999. Vol.42. Issue 5. P.464-474.
12. Nesterov V.N. Structural and technological methods in designing invariant measurement sensors // Measurement Techniques. 2007. Vol.50. Issue 2. P.108-114.
13. Свистунов Б.Л. Измерительные преобразователи для параметрических датчиков с использованием аналитической избыточности // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2017. №2(20). С.94–100.
14. Чернецов М.В., Чураков П.П. Инвариантное преобразование в измерительных системах с параметрическими датчиками // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2018. №1(23). С.11–17.
15. Нестеров В.Н. От принципа двухканальности к теории построения инвариантных измерительных систем // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2020. №4. С.56-67.

16. Нестеров В.Н. Принцип компенсации возмущений в измерительных и иных электронных устройствах // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. Матер. Всерос. научно-технич. конф. – Самара: Самарский универ, 2024. С. 10-12.

17. Нестеров В.Н. Новый класс инвариантных измерительных преобразователей: методы построения и реализация для приборов и систем специального назначения // Информационные, измерительные и управляющие системы. Научно-техн. сб. Самарского отделения Поволжского центра Метрологической академии России / Под ред. проф. В.Н. Нестерова. – Самара: Изд. Самарского научного центра РАН, 2007. Вып.3. С.18-37.

18. Нестеров В.Н., Ли А.Р. Теория и практика построения инвариантных измерительных преобразователей и систем на основе принципа двухканальности // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18. №4(7). С.1414-1422.

19. А.с. 1824520 СССР, МПК G 01 D 21/00. Способ автономных измерений физических величин / В.Н. Нестеров, Е.М. Карпов. – №4874820/10; заявл. 17.09.1990; опубл. 30.06.1993. Бюл. №24.

20. Nesterov V.N., Li A.R. Application of the Two-Channel Principle in Measuring Devices to Compensate for Disturbing Influences of Unknown Physical Nature // Devices and Methods of Measurements. 2020. Vol.11. N.3. P.128-135. DOI: 10.21122/2220-9506-2020-11-3-228-235.

21. Нестеров В.Н. Технологический метод синтеза инвариантных измерительных преобразователей и его применение для приборов и систем специального назначения // Информационные, измерительные и управляющие системы. Научно-техн. сб. Самарского отделения Поволжского центра Метрологической академии России / Под ред. проф. В.Н. Нестерова. – Самара: Изд. Самарского научного центра РАН, 2007. Вып.3. С.38-56.

22. Нестеров В.Н., Ли А.Р. Технологический метод проектирования измерительных приборов и систем для работы в неизвестных заранее условиях эксплуатации // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2019. Т. 22. №2. С.69-76.