

УДК 629.12.066-52

**В.В. Кирюха<sup>1</sup>, Ю.М. Горбенко<sup>2</sup>, В.С. Яблокова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет,  
690600, г. Владивосток, о. Русский

## **АНАЛИЗ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В СУДОВЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

*Рассмотрены вопросы построения систем контроля на основе датчиков неэлектрических величин различного типа. Даны рекомендации по применению преобразователей неэлектрических величин в судовых автоматических системах.*

**Ключевые слова:** датчик, преобразователь, преобразовательный элемент, автоматическая система.

**V.V. Kiryuha, Yu.M. Gorbenko, V.S. Yablokova**

## **ANALYSIS OF NON-ELECTRICAL QUANTITIES TRANSDUCERS AND RECOMMENDATIONS FOR THEIR USE IN MARINE AUTOMATED SYSTEMS**

*The paper deals with the construction of control systems based on the gauges of various types of non-electrical quantities. Recommendations on the use of non-electric converters quantities in marine automated systems.*

**Key words:** sensor, transmitter, transducer element, automatic.

В судовых системах автоматического контроля параметров достаточно часто необходимо производить контроль неэлектрических параметров. Например, контроль давления, температуры, влажности и т.д. Для контроля таких параметров целесообразно использовать датчики на основе преобразователей неэлектрических величин.

На вход измерительного преобразователя воздействует некоторая физическая величина, определяемая видом преобразователя. На выходе преобразователя выделяется электрический сигнал, связанный с входной величиной по какому-либо закону.

Функция преобразования – функциональная зависимость между выходной  $Y$  и входной  $X$ . Функция преобразования может быть задана аналитически в виде уравнения, графически или в виде таблицы. Измерительный преобразователь – это техническое устройство, построенное на определенном физическом принципе действия и предназначенное для выполнения одного специфического измерительного преобразования.

Измерительное преобразование представляет собой отражение одной физической величины размером от другой физической величины, функционально с ней связанной. Применение измерительных преобразователей является единственным методом практического построения любых измерительных устройств.

На вход измерительного преобразователя воздействует изменяющаяся измерительная величина  $X$ , являющаяся входной величиной преобразователя. Входной величиной может быть любая физическая величина, для которой может быть построен преобразователь, преобразующий эту физическую величину в выходную электрическую величину по определенному закону. На выходе преобразователя имеется выходная электрическая величина  $Y$ , связанная с входной величиной по определенному закону.

В идеальном случае имеется только входная величина и нет никаких посторонних воздействий, которые влияют на измерительный преобразователь и на значение выходной величины. В реальных условиях есть множество внешних воздействий, влияющих на работу преобразователя и величину его погрешности и искажающих выходную величину.

Одним из методов уменьшения вредных внешних влияний является структурный метод. Согласно этому методу схема преобразователя строится из отдельных преобразователей так, чтобы частные погрешности отдельных преобразователей внезапно компенсировались. Структурная схема прибора во многом определяет его свойства. Преобразователи, построенные по простым схемам, надежнее в работе и дешевле, а преобразователи, построенные по сложным схемам, дороже, но имеют лучшие характеристики. Поэтому задача проектирования таких устройств заключается в выборе оптимальной схемы преобразования, которая отвечала бы предъявленным требованиям.

Наиболее часто используются последовательные схемы соединений, дифференциальные схемы, логометрические схемы и компенсационные схемы включения преобразователей.

Дифференциальной схемой называется схема, содержащая два канала с последовательным соединением преобразователей, причем выходные величины каждого из каналов подаются на два выхода вычитающего преобразователя.

Вычитающий преобразователь – это преобразователь с двумя входами, выходная величина которого представляет собой функцию разности двух входных:

$$y = F(y_1 - y_2),$$

где  $y_1$  – выходная величина первого преобразователя;  $y_2$  – выходная величина второго преобразователя;  $y$  – выходная величина дифференциальной схемы.

Структурная схема дифференциального преобразователя показана на рис. 1.

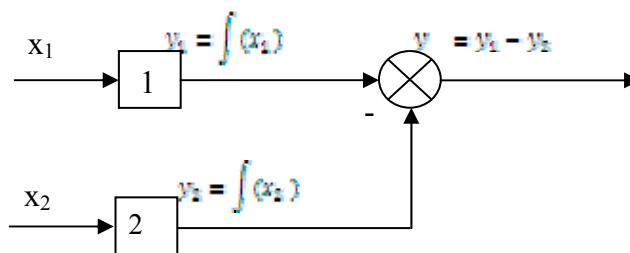


Рис. 1. Структурная схема дифференциального преобразователя  
Fig. 1. Block diagram of the differential transducer

Оба канала дифференциального преобразователя находятся в одинаковых внешних условиях, на них воздействуют одни и те же по величине и по значению внешние факторы. Поэтому в дифференциальных преобразователях аддитивные погрешности компенсируются.

Дифференциальные схемы преобразователей имеют две основные модификации. В первой модификации на вход одного канала воздействует измеряемая величина, а на вход второго канала подается сигнал той же природы, но неизменной величины. Чувствительность такой схемы может быть определена как

$$S_D = \frac{dy}{dx} = S, \quad y = y_1 \quad y_2 = S(x_1 x_2),$$

где  $y_1$  и  $y_2$  – выходные величины первого и второго каналов;  $x_1$  и  $x$  – выходная величина первого канала;  $x_2 = \text{const}$  – выходная величина второго канала.

Во второй модификации дифференциальных преобразователей измеряемая величина действует на оба канала. Поэтому чувствительность преобразователей, построенных по такой же схеме, определяется как

$$S_x = 2S$$

ввиду того, что

$$x_1 = x_0 + x, \quad x_2 = x_0 - x,$$

где  $x_1$  и  $x_2$  – входные величины первого и второго каналов;  $x_0$  – суммарное внешнее входное воздействие, действующее в обоих каналах.

Для уменьшения мультипликативной погрешности применяют логометрические схемы включения преобразователей. Структурная схема такого преобразователя показана на рис. 2.

Схема содержит два канала с последовательно соединенными преобразователями, выходные величины которых подаются на логометрический преобразователь.

Логометрический преобразователь – это преобразователь с двумя входами, выходная величина которого является функцией частного от деления входных величин

$$y = F\left(\frac{y_1}{y_2}\right).$$

Для уменьшения как аддитивной, так и мультипликативной погрешностей применяется компенсационная схема включения преобразователей. Структурная схема такого включения показана на рис. 3.

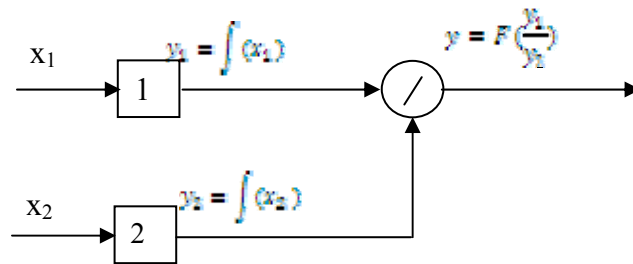


Рис. 2. Структурная схема логометрического преобразователя  
Fig. 2. Block diagram of the ratiometric converter

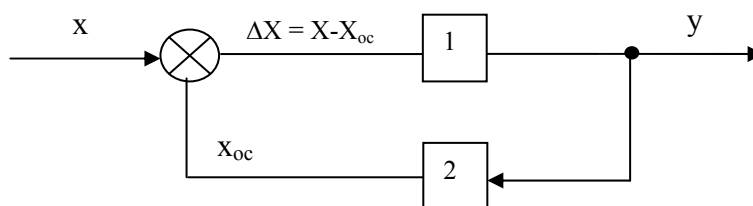


Рис. 3. Структурная схема компенсационного преобразователя  
Fig. 3. Block diagram of the compensation converter

Входная величина  $x$  подается на один из входов вычитающего преобразователя, на другой его вход подается сигнал  $x_{oc}$  той же физической природы, что и входная величина  $x$ , причем размер величины  $x_{oc}$  определяется размером входной величины  $y$ . Разность  $\Delta x = x - x_{oc}$  поступает в преобразователь «1». Если преобразователи «1» и «2» имеют линейные функции преобразования, то

$$y = S_1 \Delta x; \quad x_{oc} = S_2 y,$$

где  $S_1$  и  $S_2$  – чувствительности «1» и «2»;  $x_{oc}$  – сигнал обратной связи.

Зависимость между входным сигналом и сигналом обратной связи определяется соотношением

$$x_{oc} = S_1 S_2 \Delta x = S_1 S_2 (x - x_{oc}).$$

Выходная величина может быть определена по выражению

$$y = [S_1(1 + S_1 S_2)]x.$$

Чувствительность схемы с обратной связью определяется выражением

$$S = S_1 / (1 + S_1 S_2).$$

Выбор той или иной схемы построения измерительных преобразователей определяется требованиями, предъявляемыми к конкретным устройствам, и кругом задач, которые должны быть решены с помощью этих устройств.

При проектировании судовых автоматических систем целесообразно проводить выбор применяемых измерительных преобразователей. Одну и ту же величину можно контролировать с измерителем преобразователей различного принципа действия. Например, давление можно измерять с помощью реостатных, электростатических, магнитоупругих, тензорезисторных, индуктивных и трансформаторных преобразователей. Для удобства рекомендуемая доля контроля полного параметра преобразователя могут быть сведены в таблицу.

Как было сказано выше, каждый электрический датчик состоит из одного или нескольких измерительных преобразователей. Каждый измерительный преобразователь преобразует неэлектрическую величину в электрическую по определенному физическому закону. При этом для контроля одного и того же параметра можно использовать преобразователи, построенные на использовании разных физических законов. Например, для измерения давления шток мембраны, служащей чувствительным элементом давления, можно связать с движком, скользящим по резистору, включенному в электрическую цепь. Переменное электрическое сопротивление в этом случае будет играть роль датчика, преобразующего механическое перемещение в электрический сигнал-изменение сопротивления. В этом случае в качестве датчика мы используем реостатный преобразователь. Мы можем пойти по другому пути и связать шток мембраны с якорем броневое сердечника с катушкой. Перемещение мембраны будет влиять на величину зазора между сердечником и якорем, что приведет к изменению индуктивности катушки. В данном случае мы используем в качестве датчика индуктивный преобразователь. Можно шток мембраны связать с внутренним стержнем цилиндрического переменного конденсатора, тогда изменение давления будет приводить к изменению емкости конденсатора – это емкостной преобразователь.

Мы видим, что для решения одного и того же вопроса – создания датчика давления – можно использовать различные преобразователи, основанные на различных физических зонах. Применение каждого преобразователя имеет преимущества и свои недостатки. Поэтому задачей проектировщика является выбор такого преобразователя, который для конкретного устройства в конкретном диапазоне изменения измеряемой величины будет наиболее полно удовлетворять предъявляемым требованиям.

Для решения этой задачи необходимо сформулировать критерии выбора и на основе их оптимизации принять соответствующее решение.

Можно выделить основные виды измерительных преобразователей: реостатные, электростатические, пьезоэлектрические, электрохимические, ионизационные, магнитоупругие, тензорезисторные, терморезисторные, термоэлектрические, фотоэлектрические, индукционные, тахометрические, вихретоковые, индуктивные и трансформаторные преобразователи.

Основные задачи контроля можно разделить на следующие группы: измерение механических величин (перемещений, толщины, уровня, силы, давления, частоты вращения, деформаций, скорости, ускорений), измерение температуры, измерение расхода жидкостей и газов, измерение концентрации и измерение количества.

Далее рассмотрены вопросы применения тех или иных преобразователей для решения задач контроля определенных параметров.

Рекомендуемое использование первичных преобразователей неэлектрических величин для различных видов измерений приведено в таблице.

### Использование первичных преобразователей неэлектрических величин Use of primary converters of not electrical quantities

Тип преобразователя	Измеряемая величина															
	Перемещение	Толщина	Уровень	Сила	Давление	Частота вращения	Деформация	Скорость	Ускорение	Температура	Расход	Концентрация	Количество	Вибрация	Освещенность	Влажность
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Реостатный	+	+	+	+	+											
Электростатический	+	+	+	+	+							+				+
Пьезоэлектрический	+			+	+		+							+		
Электрохимический	+											+				
Ионизационный		+	+										+			
Магнитоупругий				+	+		+									
Тензорезисторный	+			+	+		+									

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Терморезисторный										+						
Фотоэлектрический	+					+				+		+	+		+	
Индукционный						+		+	+		+		+	+		
Тахометрический						+		+								
Индуктивный	+	+	+	+	+		+									
Трансформаторный	+	+		+	+											
Вихретоковый		+														
Термоэлектрический										+						
Пирометрический										+						
Гальванический												+				

### Список литературы

1. Кирюха, В.В. Измерительные преобразователи в системах автоматике. Теория, устройство и применение: учеб. пособие / В.В. Кирюха. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2007. – 216 с.
2. Боктон, У. Нормативный справочник инженера-метролога / У. Боктон. – М.: Додэка-XXI, 2012.
3. Горбенко, Ю.М. Измерительные преобразователи активного тока // Актуальные проблемы развития судоходства в Дальневосточном регионе: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / Ю.М. Горбенко, В.В. Кирюха. – Владивосток, 2011.
4. Кирюха, В.В. Элементы и функциональные устройства автоматике / В.В. Кирюха. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2013. – 23 с.
5. Кирюха, В.В. Индуктивные датчики и их применение для решения задач оперативного контроля толщины слоя коррозии / В.В. Кирюха // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2014. – Т. 31. – 123 с.
6. Молочков, В.Я. Микропроцессорные системы управления техническими средствами судов: учеб. пособие / В.Я. Молочков. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011. – 193 с.
7. Молочков, В.Я. Микропроцессорные системы управления техническими средствами рыбопромысловых судов: учебник / В.Я. Молочков. – М.: Моркнига, 2013. – 398 с.

**Сведения об авторах:** Кирюха Владимир Витальевич, доцент;  
 Горбенко Юрий Михайлович, кандидат технических наук, доцент;  
 Яблокова Виктория Сергеевна, кандидат технических наук, доцент.