

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ДАТЧИКИ ТОКА, НАПРЯЖЕНИЯ И МОЩНОСТИ

Производство непрерывно развивается и требует всесторонней автоматизации, в первую очередь систем учета и контроля. Процессы автоматизации основаны на показаниях первичных датчиков физических величин (тока, напряжения, мощности). Вот почему так велик интерес и высоки требования к их конструкциям и характеристикам. Сегодня ФГУП НИИЭлектромеханики (ФГУП НИИЭМ, г. Истра Московской обл.) предлагает более 250 модификаций первичных датчиков. Информация об особенностях датчиков от НИИЭМ поможет потребителям разобраться в их конструкциях, технических возможностях, преимуществах и недостатках и решить нелегкий вопрос: использовать отечественные приборы или сделать выбор в пользу зарубежных аналогов.

Первичные датчики, разработанные и выпускаемые НИИЭМ, можно условно разделить на две группы – датчики тока и напряжения и датчики активной мощности. Физическая основа работы всех датчиков в том, что ток создает вокруг проводника магнитное поле. Характеристики поля связаны с амплитудой, направлением и видом протекающего тока. Поэтому основное преимущество таких датчиков в том, что они измеряют любой вид тока без разрыва токовой цепи и с гальванической развязкой выходного сигнала от токовой цепи.

ДАТЧИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Универсальные датчики тока. Универсальность датчиков заключается в том, что одним и тем же прибором можно измерять постоянные, переменные и импульсные токи. Для этого в конструкцию датчика, кроме концентратора магнитного поля, входит так называемый датчик Холла – миниатюр-



Г. Портной

ный полупроводниковый прибор, который определяет величину и направление магнитного поля проходящего тока. Датчик выполнен в виде миниатюрного автономного модуля с напряжением питания ± 15 В – по требованию заказчика источник питания может быть поставлен вместе с датчиком.

Потребитель должен только пропустить токовую шину через отверстие в корпусе датчика тока. Понятно, что в зависимости от величины измеряемого тока и внешних условий эксплуатации датчиков, меняется диаметр отверстия и конструкция корпуса приборов. На рис.1 представлены типовые образцы датчиков тока, которые серийно выпускает НИИЭМ. В табл.1 приведена классификация универсальных датчиков серии ДТХ в зависимости от величины измеряемого тока.

Из табл.1 видно, что диапазон измерения тока датчиков серии ДТХ составляет от десятков миллиампер и до трех тысяч ампер. Наиболее популярны датчики ДТХ-50. ДТХ-200 (рис.2а). Такие модули имеют минимальные размеры и массу. Монтируются они, как правило, на печатной плате с помо-



Рис.1. Внешний вид датчиков производства ФГУП НИИЭМ



Таблица 1. Характеристики выпускаемых датчиков измерения постоянного и переменного токов (ДТХ, ДТР)

Характеристика	Тип датчика	ДТХ				ДТХ-Т	ДТР-01	ДТХ							
		50	100	150	200			500	750	1000	1500	3000	1000Ж	1500Ж	3000Ж
Диапазон измеряемых токов, А (В)		0–50	0–100	0–150	0–200	50–200	5–300	0–500	0–750	0–1000	0–1500	0–3000	0–1000	0–1500	0–3000
Диапазон рабочих температур, °С		-20...80				-40...70	0...70	-20...70				-20...80			
Выходной сигнал датчика, В (мА)		(25)	(50)	(75)	(50)	(25–100)	(4/20)	5	7,5	(200)	(300)	(600)	(200)	(300)	(600)
Основная погрешность измерения, не более, %		1,0				1,0	1,5	1,0		0,7			2,5		
Питание, В		±15				±15	10–30	±15		±18–24					
Диапазон воспроизв. частот, Гц		0–50000				0–50000	40–65	0–50000							
Габариты, мм		44x33x22		58x48x30		70x55x34	85x55x35	68x90x101		125x120x110			194x118x82		
Размер отверстия под токовую шину, мм		10		12		14	19x19	20		40			10x87		
Масса, г		70		100		70	130	500		700	800	900	700	900	900

щью выводных ножек датчика. Ножки впаиваются в металлизированные отверстия печатной платы, их стандартный шаг – 2,5 мм. При необходимости работы ДТХ в условиях, связанных с внешними механическими воздействиями, предусмотрена более жесткая конструкция (ДТХ-Т на рис.2б) – электрическое соединение датчика реализуется с помощью разъема.

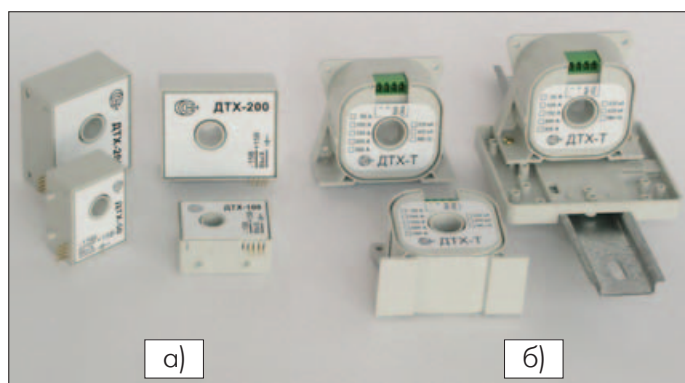


Рис.2. Датчики тока для монтажа на печатную плату (а) и в транспортном варианте (б)

Выходной сигнал стандартного датчика ДТХ или ДТХ-Т – токовый и строго пропорционален мгновенному значению из-

меряемого тока. Однако, по требованию заказчика, электронная схема датчика легко трансформируется. В этом случае датчик может измерять действующее значение тока (TRUE-RMS), либо обладает стандартным токовым выходом 4–20 мА (0–20 мА). Это создает дополнительные удобства при использовании датчиков в системах автоматизации или связи.

Основные преимущества датчиков ДТХ и ДТХ-Т: высокая точность измерений (до 1%), гальваническая развязка, малые массогабаритные параметры и температурный дрейф характеристик (см. табл.1). Диаметр отверстий под токовую шину колеблется от 10 (ДТХ-50) до 40 мм (ДТХ-3000).

Датчики измерения переменного тока. Датчики переменного тока серии ДТТ – вариант универсальных датчиков ДТХ. Анализ рынка показывает, что в 50% случаев потребителям необходимо измерять только переменные токи синусоидальной формы (50 Гц). Именно для таких измерений разработана серия датчиков ДТТ, конструктивно выполненных в корпусах ДТХ, но с менее дорогостоящей электроникой (табл. 2). Цена таких датчиков приблизительно в 1,5 раза ниже, а уровень технических характеристик весьма высок.

Таблица 2. Характеристики выпускаемых датчиков измерения переменного тока ДТТ

Характеристика	Тип датчика	ДТТ-02	ДТТ-03	ДТТ-04	ДТТ-04Б	ДТТ-06	ДТТ-07
		Диапазон измеряемых токов, А	5; 10; 20; 50; 100; 200; 300		1;5;10;20;50;100	5;10;20;50;100;200;300	300; 500; 750
Номинальный выходной сигнал, В (мА)	+ 2	(4/20)	~ 2	+2	(4/20)		
Источник питания, В	±8...±15	15–30	±8...±15		15–30		
Ток потребления, мА	5	7/24	5				
Диапазон рабочих температур, °С	-10...80 -40...80	-40...80					
Допустимая перегрузка по измеряемому току, раз.	1,5						
Основная приведенная погрешность для частоты 50 Гц, %	0,5						
Нелинейность выходной характеристики, %	0,2						
Полоса пропускания, Гц	20–5000						
Габариты, мм	58x48x30	44x33x22	58x48x30	68x90x101			
Диаметр отверстия под токовую шину, мм	12	10	12	20			
Масса, г	100	70	100	500			

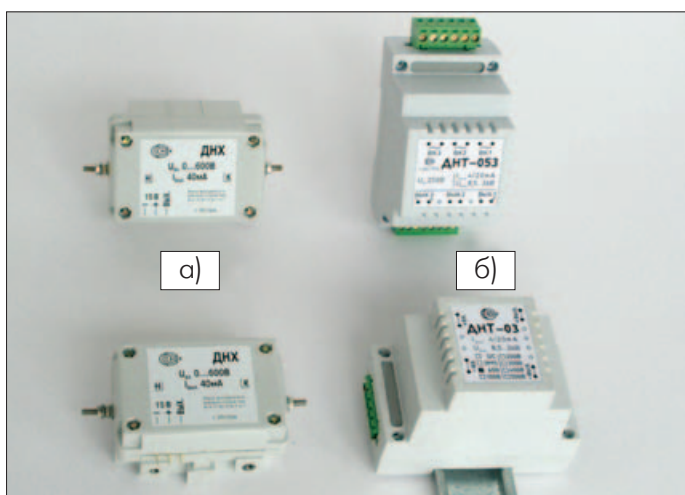


Рис.3. Конструкция датчиков напряжения ДНХ (а) и ДНТ (б)

Датчики ДТТ могут работать в широком температурном диапазоне (-40... 80°C) с минимальной температурной погрешностью. Линейность АЧХ не хуже 1% в диапазоне частот от 20 Гц до 10 кГц. Кроме того, потребитель сам выбирает, с каким выходным сигналом датчика ему удобно работать: это может быть потенциальный сигнал или токовый выход 4–20 мА (0–20 мА).

Датчики измерения напряжения. Если измеряемое напряжение цепи преобразовать в ток (для этого достаточно использовать токозадающее сопротивление), то величина его будет пропорциональна напряжению в измерительной цепи. Этот принцип лежит в основе работы датчиков напряжения, а наличие в их конструкции датчика Холла обеспечивает гальваническую развязку силовых и контрольных цепей.

В табл. 3 приведены основные технические характеристики датчиков напряжения постоянного тока (ДНХ) и датчиков напряжения переменного тока (ДНТ). Конструкция датчиков напряжения представлена на рис. 3. Датчик напряжения можно монтировать на печатную плату, а токозадающее сопротивление подключать одним концом к измерительной цепи, а вторым – к винтовому выводу датчика (рис. 3а). Второй винтовой вывод датчика соединен с измерительной цепью. Иногда удобнее размещать датчик на DIN-рейке – для этого

Таблица 3. Основные технические характеристики выпускаемых датчиков напряжения постоянного и переменного токов (ДНХ, ДНТ)

Характеристика	Тип датчика		
	ДНХ	ДНТ-051	ДНТ-053
Диапазон измеряемых напряжений, В	(0–1000)	50, 100, 250, 500	250
Номинальный выходной сигнал, мА	±15	4/20	
Источник питания, В	60	8,5–36	
Ток потребления, мА	-20...+70	–	
Диапазон рабочих температур, °С	-1,5	0–70 (-40...70)	
Допустимая перегрузка по измеряемому току, раз.	1,0	1,3	
Основная приведенная погрешность для частоты 50 Гц, %	0,5	0,5	
Нелинейность выходной характеристики, %	0,3	0,5	
АЧХ в пределах 1%, не более, кГц	–	0,02–10	
Габариты, мм	73,5x52,5x39	90x35x62	95x54x65
Масса, г	100	180	210

существует специальная переходная планка. В ряде случаев более удобным является клеммное устройство датчика напряжения (рис.3б). Такой датчик напряжения можно монтировать непосредственно на DIN-рейке.

Датчики напряжения позволяют в широком температурном диапазоне измерять постоянное и переменное напряжение до 1000 В. Электронная схема предусматривает получение выходного сигнала в виде напряжения или в виде токового сигнала 4–20 мА (0–20 мА). Например, датчик ДНХ-03 (табл.3) предназначен для преобразования входного постоянного импульсного напряжения положительной полярности в стандартное (мгновенное) значение токового выхода 4–20 мА. А модификация этого же датчика – ДНХ-03 RMS – преобразует входное напряжение в действующее выпрямленное значение стандартного токового выхода 4–20 мА. Питание датчика ДНХ-03 производится по токовой петле 4–20 мА, а монтаж – на DIN-рейку.

Существуют и более дешевые датчики ДНТ-05 для измерения только переменного напряжения (табл. 3). Датчик ДНТ-051 может работать в однофазных цепях, а датчик ДНТ-053 предназначен для работы в трехфазных цепях и содержит в одном корпусе три независимых, гальванически изолированных канала. Каждый канал идентичен датчику ДНТ-051. Датчик напряжения ДНТ-05 преобразует входное напряжение в средневыпрямленное значение выходного тока, проградуированное в среднеквадратических значениях.

Разъемные датчики тока. Есть целая отрасль измерений, которая не может использовать описанные стационарные датчики. Речь идет о мониторинге функционирующих токовых цепей, которые собраны давно. Кроме того, целый ряд производств с непрерывным циклом не допускает длительного отключения токовых цепей и переустановки оборудования. Именно здесь незаменимы разъемные датчики тока серии ДТР-01 и ДТХ-Ж (см. табл. 1).

Основа таких датчиков – разъемный магнитопровод, позволяющий монтировать (и демонтировать) датчики непосредственно на токовой шине. Монтировка/демонтаж производится без разрыва шины и с гальванической изоляцией измеряемого тока от измерительных цепей. При необходимости датчики можно закрепить и на DIN-рейке.

При протекании измеряемого тока по шине, охватываемой магнитопроводом датчика, в обмотке датчика наводится ток, который пропорционален измеряемому току. Выходной сигнал с обмотки подается либо на выпрямитель (детектор) амплитудных значений (маркировка датчика ДТР-01), либо на детектор истинных среднеквадратичных значений (ДТР-01 RMS). Напряжение постоянного тока с выхода детектора преобразуется в сигнал интерфейса "токовая петля 4–20 мА".

Разъемные датчики тока относятся к числу последних разработок НИИЭМ – сейчас налажено производство только двух модификаций (рис.4). Датчик ДТР-01 рассчитан для



Таблица 4. Характеристики выпускаемых клещей электроизмерительных КЭИ

Характеристика \ Тип датчика	КЭИ-0,6М200	КЭИ-0,6М	КЭИ-1	КЭИ-3	КЭИ-5
Диапазон измеряемых токов, А	0–200 (только переменный ток)	0–600	0–1000	0–3000	0–5000
Режим поиска "MAX", "MIN"	-	+		-	
Режим "SLEEP" (энергосбережение)	-	+		-	
Режим "HOLD" (удержание значения)			+		
Измерение сопротивления, температуры	-	+		-	
Средний ток потребления, мА, не более	3	5		7	
Установка нуля		Авто		Ручная	
Основная погрешность измерения, %, не более		2		3	
Диапазон рабочих температур, °С		0–60		0–35	
Диапазон воспроизводимых частот, кГц		0–0,05		0–3	
Питание, тип		2 элемента AA		1 элемент "Крона"	
Габариты, мм	210x82,5x33		240x95x28	327x127x33	514x266x57
Размер отверстия под токовую шину, мм	35		64	90	160
Масса, г	350	500	700	800	1600

монтажа на круглой шине и предназначен для измерения токов в диапазоне от 5 до 300 А с допустимой перегрузкой по входному току в 1,5 раза. Разъемная конструкция датчиков ДТХ-1000Ж, ДТХ-1500Ж или ДТХ-3000Ж позволяет закрепить их на плоской шине – номинальный измеряемый ток у этих датчиков 1000, 1500 или 3000 А (соответственно).

Электроизмерительные клещи. Конструкция разъемных датчиков позволяет закрепить их непосредственно на шине без разрыва токовой цепи. Затем такие датчики функционируют как обычные стационарные приборы. Однако существует целый ряд задач, решение которых требует частых разовых измерений, причем в различных, иногда труднодоступных участках токовых цепей. Здесь помогут клещи электроизмерительные серии КЭИ. Их основные технические характеристики приведены в табл.4.

Токовые клещи – это автономные контрольные приборы (питаются от двух пальчиковых батареек) для измерения действующего значения переменного и постоянного токов без разрыва силовой цепи. Клещи КЭИ введены в Государственный Реестр СИ РФ, сертифицированы и выпускаются в раз-

личных модификациях (см. табл.4). Базовая модель клещей КЭИ-0,6М (рис. 5б) – это интеллектуальный прибор, в конструкции которого используется микроконтроллер с электрически программируемым ПЗУ (EEPROM). Вот почему клещи помимо стандартных функций (измерение постоянного и переменного токов) содержат еще и ряд функций мультиметра. С их помощью можно измерять напряжение постоянного и переменного токов до 600 В; сопротивление цепи до 2000 Ом; температуру окружающей среды. Выбор пределов измерений и обнуление шкалы в клещах производятся автоматически. Кроме того, клещи КЭИ содержат ряд сервисных функций. Они сохраняют измеренное значение ("память"), способны работать в режиме поиска минимального или максимального значения тока за измеряемый промежуток времени. Функция энергосбережения ("спящий режим") позволяет минимизировать энергозатраты. По требованию заказчика клещи комплектуются стандартным интерфейсом RS-232 для связи с ПК. Малые массогабаритные параметры и различный диаметр отверстия под токовую шину также удобны для потребителей. Отечественные клещи марки КЭИ работают при температурах окружающей среды -20°С.

Стоит выделить модификацию клещей (см. табл. 4) для измерения больших токов до 3 кА (КЭИ-3) и до 5 кА (КЭИ-5,

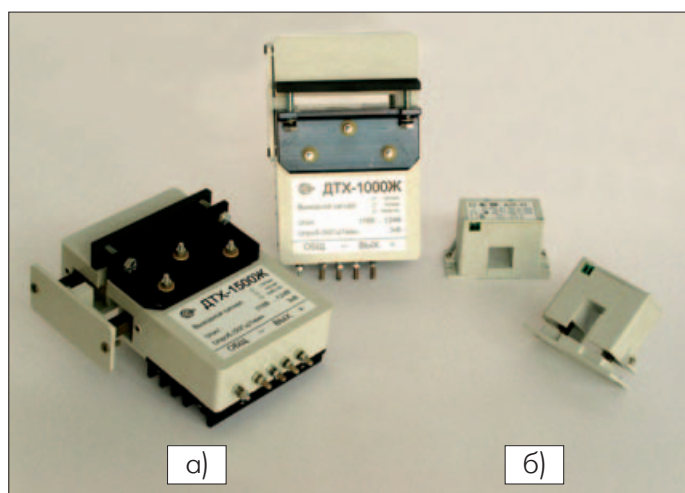


Рис.4. Внешний вид разъемных датчиков тока под плоскую (а) и круглую (б) токовые шины

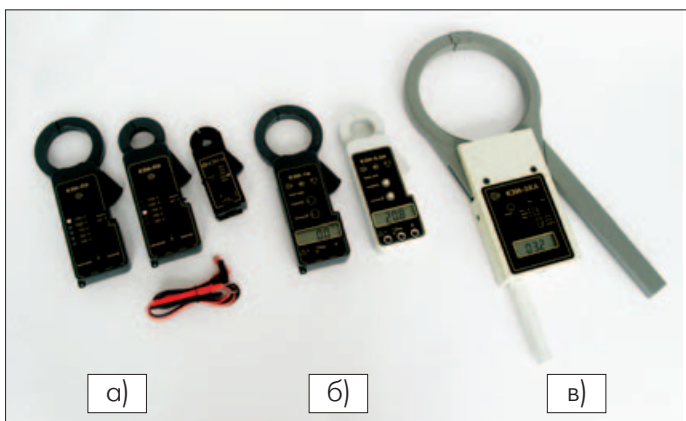


Рис.5. Внешний вид токовых клещей-адаптеров (а), базовой модели клещей (б) и клещей для измерения больших токов (в)

рис.5в). Диаметр отверстия клещей под токовую шину с измеряемым током до 5 кА составляет 160 мм. Для сравнения эти клещи представлены на одном рисунке рядом с клещами-адаптером (рис.5а). Последние предназначены для измерения постоянных и переменных токов без индикации измеренных значений на ЖКИ дисплее. Кроме отсутствия ЖКИ, клещи-адаптер имеют упрощенную электрическую схему (следовательно, их цена ниже). В то же время можно выбрать такие клещи с размахом губок под токовую шину от 20 и до 64 мм (табл. 5) для измерения токов от 20 и до 1500 А.

ДАТЧИКИ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ (ДИМ)

Логическим продолжением описанных приборов является ДИМ, схемно реализующий формулу расчета мощности ($P = I \cdot U$). ДИМ преобразует активную мощность, потребляемую нагрузкой в цепях переменного (50 Гц) и постоянного тока, в пропорциональный сигнал токового интерфейса 0–20 мА или 4–20 мА, гальванически изолированного от измерительных цепей.

Диапазон мощностей, измеряемых ДИМ, составляет от 5 до 200 кВт. При этом диапазон входных напряжений колеблется от 20 до 380 В, а диапазон входных токов составляет от 20 до 600 А. Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) ДИМ на частоте

50 Гц составляет 0,3–1, погрешность $\pm 2\%$.

ДИМ изготовлен в одном из описанных корпусов, поэтому диаметр отверстия под токовую шину можно варьировать или изготовить ДИМ под плоскую токовую шину. Питается ДИМ от внешнего источника 13,5–16,5 В и выдерживает длительную перегрузку по входу до 120% от номинальных значений напряжения и тока.

ДАТЧИК БОЛЬШИХ ТОКОВ

Теперь опишем датчик больших токов (ДБТ), представленный в сборе на токовой шине ванны электролиза алюминия (рис. 6).

Конструкция ДБТ состоит из двух блоков: измерительного контура и блока питания. Разъемный измерительный контур массой до 40 кг предназначен для монтажа непосредственно на токоведущей шине. Размеры внутреннего окна контура могут составлять 400 · 400 мм. Удобство монтажа датчика без разрыва токовой шины – это только одно из преимуществ ДБТ по сравнению с традиционно используемыми шунтами. Электрическую связь между измерительным контуром и блоком питания и индикации обеспечивает кабель длиной до 5 м. Блок питания и индикации смонтирован в удобном переносном корпусе и питается от однофазной промышленной сети переменного тока 220 В (50 Гц) $\pm 10\%$. Блок обеспечивает питанием измерительный контур и формирует выходной сигнал стандартной токовой петли 0–5 мА. Погрешность датчика составляет 0,4%, ДБТ полностью сохраняет работоспособность при полуторакратной перегрузке измеряемого тока.

ДБТ реализует принцип работы датчиков тока, который описан выше. Однако области использования ДБТ весьма специфичны: это энергоемкие производства медеплавильной промышленности, предприятия нефтяной промышленности и электрометаллургии, нефтехимия и электроэнергетика с высоким уровнем паразитных магнитных полей. Область применения обуславливает дополнительные требования к схе-

Таблица 5. Характеристики выпускаемых клещей-адаптеров

Характеристика	Тип датчика	КЗИ-м	КЗИ-к	КЗИ-		
				0,3ПЭ; 0,5ПЭ; 0,75ПЭ	1ПЭ	1,5ПЭ
Диапазон измеряемых токов, А		0–20; 0–50; 0–100; 0–200		0–300; 0–500; 0–750	0–1000	0–1500
Подстройка нуля		Ручная			Нет	
Значение нуля, мВ		–			7	
Нелинейность преобразования, не более, %		1			1	
Основная погрешность измерения, не более, %			3			2,5
Средний ток потребления, не более, мА		5			30	
Диапазон рабочих температур, °С		0–70			-10...+70	
Диапазон воспроизводимых частот, кГц		0–10			0–10	
Номинальный выходной сигнал, В			1			1,5
Питание, тип		Блок питания 6–15 В	1 элемент "Крона"	2 элемента АА		
Габариты, мм		130x60x30		210x71x28	210x71x28 (240x95x28)	
Размер отверстия под токовую шину, мм		14		35	35 (64)	
Масса, г		110		500	500 (700)	



Рис. 6. Датчик больших токов ДБТ, смонтированный на токовой шине ванны электролиза алюминия

технике и конструкции датчика. Прибор работает в тяжелых температурных условиях и при высоком уровне электромагнитных помех. Поэтому в датчике имеется специальная система теплоотвода, повышены изолирующие свойства измерительного контура и предусмотрены меры электромагнитной защиты.

В настоящее время ДБТ выпускается в трех модификациях: на 8 кА (ДБТ-8), на 15 кА (ДБТ-15) и на 25 кА (ДБТ-25). При измерении таких токов актуализируется проблема метрологии измерительного датчика. Решение ее возможно с помощью специальной поверочной обмотки в конструкции ДБТ. Обмотка позволяет настраивать и периодически проверять

ДБТ непосредственно на предприятии заказчика.

Не менее существенным преимуществом ДБТ является его цена: она приблизительно в 3–4 раза ниже зарубежных аналогов.

В ближайшее время следует ожидать появления на рынке нового датчика больших токов на 40000 А, разработка и изготовление которого сейчас заканчиваются. Новый датчик сохраняет все достоинства предшествующих ДБТ, но снижена масса его разъемного магнитопровода и усовершенствована элементная база электронного блока питания.

Для желающих более подробно ознакомиться с нашими разработками существует страница в Интернете <http://www.niiem.ru>. ○