

СЕРИЯ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ МИДА

В.В.Бушев, О.Л.Николайчук, В.М.Стучебников

Введение

В последние годы ускоренное развитие получили микроэлектронные датчики различных физических величин, что связано, в первую очередь, с непрерывно растущими потребностями промышленности в точных измерениях. Микроэлектронная технология, совершившая переворот в развитии средств обработки информации, позволяет обеспечить массовое производство и средств получения информации - датчиков [1].

Большими достоинствами с точки зрения стабильности и точности при работе в жестких условиях эксплуатации (высокие и низкие температуры, ионизирующие излучения и др.) обладают тензорезисторные чувствительные элементы на основе структур «кремний на сапфире» (КНС) [2]. На базе этих чувствительных элементов разработаны и выпускаются ряд датчиков (прежде всего давления) в России [3-7] и за рубежом [8].

В настоящей работе приведены характеристики ряда преобразователей и датчиков давления на основе структур КНС, разработанных и выпускаемых промышленной группой «Микроэлектронные датчики» (МИДА). Оптимизация характеристик исходного материала, конструкции упругого элемента, топологии тензочувствительной схемы, параметров электронного преобразователя, технологии изготовления и методов коррекции температурных погрешностей позволяют получать датчики давления с высокими метрологическими характеристиками при относительно низких затратах на их производство. Датчики МИДА более десяти лет успешно работают в различных отраслях энергетики, промышленности, коммунального хозяйства, в том числе в системах автоматизации и управления газотранспортными магистралями и атомными электростанциями. Часть приборов МИДА специально разработана для экспорта (в США, Чехию, Китай).

Конструкция преобразователей и датчиков МИДА

Тензорезисторные преобразователи (ТП) МИДА выполнены в виде одномембранных или двухмембранных устройств [9], в которых на круглую металлическую (титановый сплав) мембрану, выполненную заодно с корпусом, напаян твердым припоем чувствительный элемент в виде сапфировой пластины с нанесенной на ней гетероэпитаксиальной тензочувствительной мостовой схемой. Измеряемое давление подается либо непосредственно на измерительную мембрану с чувствительным элементом (рис.1а), либо на воспринимающую мембрану, соединенную с измерительной мембраной жестким штоком (рис.1б). В датчике абсолютного давления МИДА-ДА-04П сапфировая пластина, соединенная с керамическим основанием стеклоприпоем, играет роль упругого элемента, преобразующего давление в деформацию тензорезисторов (рис.1в).

Конструкция с двухслойной измерительной мембраной (рис.1а,б) выгодно отличается от датчиков, в которых сапфировый чувствительный элемент одновременно является воспринимающей давление мембраной [8]. Во-первых, в датчиках на различные диапазоны давлений используется один типоразмер чувствительного элемента, что значительно упрощает производство. Во-вторых, металлическая мембрана позволяет выдерживать значительные (до 10 раз) перегрузки без разрушения датчика, что особенно важно при измерениях во взрывоопасных условиях.

Двухмембранная конструкция (рис.1б) значительно расширяет возможности преобразователей давления. В этой конструкции достаточно просто реализуются датчики с открытой мембраной, позволяющие проводить измерения без подмембранной полости (МИДА-ДИ-07П, МИДА-ДИ-08П). Такие датчики необходимы для измерения давления сред, засоряющих импульсные трубки и подмембранные полости (например, вязких или кристаллизующихся жидкостей, газовых взвесей твердых частиц), а также для измерения давления в пищевой промышленности. Двухмембранная конструкция позволяет также реализовать ТП давления высокотемпературных (до 600 °С) сред, например, для измерения давления газов в цилиндрах двигателей (МИДА-ДИ-68ПМ). Наконец, такая конструкция позволяет создавать высоконадежные датчики абсолютного давления.

Электронная схема датчика обеспечивает питание тензочувствительной мостовой схемы ТП и преобразование сигнала разбаланса тензомоста в унифицированный выходной сигнал датчика (0-5, 4-20 мА или 0-5 В). Особенность датчиков МИДА заключается в отсутствии элементов коррекции погрешностей ТП в электронной схеме; коррекция погрешностей (в первую очередь, температурных) осуществляется непосредственно в преобразователях. Единственным исключением является высокоточный датчик МИДА-ДИ(ДА)-13ПК, в котором коррекция всех погрешностей производится встроенным микропроцессором. Конструктивно электронная схема, выполненная печатным монтажом, либо объединена в одном корпусе с ТП (для датчиков на диапазон рабочих температур -40...+80 °С), либо вынесена в отдельный корпус (для высокотемпературных датчиков).

Оптимизация характеристик тензопреобразователей

Основными требованиями, предъявляемыми к современным общепромышленным датчикам, являются: высокая стабильность характеристик во времени, высокая надежность, работоспособность в жестких условиях эксплуатации, высокая точность (малые основная и дополнительная - в основном, температурная - погрешности), минимальная трудоемкость производства. Поскольку эти требования, вообще говоря, противоречивы, при разработке датчиков приходится идти на компромисс, выбирая оптимальное сочетание параметров. Это оптимальное сочетание обеспечивается разработанной конструкцией, используемой технологией и электронной схемой датчика. В датчиках давления МИДА использованы как различные методы физико-конструктивной и физико-технологической оптимизации ТП, использующие особенности структур КНС [10], так и схемотехнические методы.

Стабильность характеристик. Стабильность характеристик ТП достигается комплексом конструктивно-технологических решений [9]. В качестве материала металлической упругой мембраны преобразователя используются дисперсионно-твердеющие титановые сплавы, имеющие высокие упругие характеристики в различных областях рабочих температур (до 600 °С в зависимости от состава). Соединение сапфировой подложки тензочувствительного элемента с мембраной осуществляется высокотемпературной (~850 °С) пайкой

серебросодержащим припоем, что обеспечивает практически безгистерезисную передачу деформации от воспринимающей давление металлической мембраны через монокристаллическую сапфировую подложку к кремниевым тензорезисторам. В датчиках МИДА используется топологически замкнутая мостовая тензосхема. Это позволяет значительно уменьшить влияние переходного сопротивления контактов на выходной сигнал тензопреобразователя при питании моста постоянным напряжением и полностью исключить это влияние при питании моста постоянным током, что также повышает стабильность характеристик тензопреобразователя. Гетероэпитаксиальные кремниевые тензорезисторы на диэлектрической подложке не имеют необходимого для диффузионных чувствительных элементов изолирующего p-n-перехода и дополнительно защищены слоем двуокиси кремния, что обеспечивает высокую стабильность сопротивления. Для дополнительной защиты от влияния окружающей среды на тензосхему корпус датчиков делается герметичным, а связь с атмосферой в датчиках избыточного давления осуществляется через пористый металлический фильтр. В результате даже после многочисленных термоциклов изменение основной погрешности датчиков не превышает 0,2-0,5% (рис.2).

Основная погрешность преобразования. Линейность выходной характеристики ТП определяется как механическим преобразованием (давления в деформацию тензорезисторов), так и механо-электрическим преобразованием (деформации в изменение сопротивления тензорезисторов). Специфические особенности гетероэпитаксиальных кремниевых тензорезисторов на сапфире позволяют обеспечить высокую линейность механо-электрического преобразования [11], что вместе с оптимальной формой упругой мембраны, воспринимающей давление, определяет малую погрешность нелинейности ТП давления (рис.3а). Как уже упоминалось, дисперсионная структура титанового сплава и высокотемпературное паяное соединение сапфира с металлом обеспечивает практическое отсутствие вариации ТП (рис.3б). Высокая повторяемость характеристик достигается технологической приработкой ТП. Поскольку электронная схема обработки сигнала имеет высокую линейность, то нелинейность выходного сигнала датчиков практически совпадает с нелинейностью ТП.

Температурная погрешность преобразования. В датчиках давления МИДА используется физико-технологическая и пассивная схемотехническая коррекция температурной погрешности ТП. При этом, как уже упоминалось, электронная схема обработки сигнала ТП не участвует в компенсации температурной погрешности, что уменьшает трудоемкость настройки датчика в целом.

К сожалению, значительная разница в коэффициентах теплового расширения сапфира и титана приводит к деформации чувствительного элемента при остывании после пайки и, как следствие, к температурной зависимости начального выходного сигнала тензопреобразователя. Для коррекции этой температурной зависимости в датчиках МИДА используются два различных метода. При питании тензомоста от источника тока с помощью элементов балансировки моста, включенных в топологию тензосхемы, устанавливается определенное расчетное значение начального выходного сигнала, которое уже практически не зависит от температуры [12]. Включение элементов балансировки тензомоста непосредственно в его топологическую схему, во-первых, возможно лишь благодаря твердой диэлектрической подложке в структуре КНС и легко осуществляется перерезанием кремниевых перемычек. Во-вторых, при этом не меняются температурные коэффициенты сопротивления тензорезисторов, что позволяет более точно корректировать температурный дрейф начального сигнала ТП по сравнению с обычно используемой балансировкой диффузионных кремниевых тензосхем с помощью постоянных резисторов (см., например, [13]). При питании тензомоста от источника напряжения параллельно с одним плечом включается постоянный резистор, а с помощью элементов балансировки тензомоста начальный сигнал устанавливается близким к нулю. Типичные значения зоны температурной погрешности начального сигнала датчиков показаны на рис. 4а.

Температурная зависимость чувствительности тензопреобразователей определяется, в основном, характеристиками кремниевого слоя. Как показано в [2], в гетероэпитаксиальных тензорезисторах из КНС имеет место явление дифференциальной инвариантности пьезосопротивления (ДТИП), что позволяет при определенной оптимальной степени легирования кремния и питании тензосхемы постоянным током обеспечить постоянство чувствительности тензопреобразователя давления в широком диапазоне температур. Однако, в реальном производстве, во-первых, практически невозможно изготовление структур КНС с точно заданным уровнем легирования (для использования явления ДТИП необходимо отклонение от оптимального уровня легирования не более 1-2%), а, во-вторых, сам оптимальный уровень легирования зависит от конструкции тензопреобразователя, которая определяется диапазоном измерения. Поэтому используются структуры КНС с практически достижимым разбросом степени легирования (~5-7%) с уровнем легирования несколько выше оптимального, а возникающая при этом небольшая температурная зависимость чувствительности компенсируется подключением параллельно питающей диагонали моста постоянного резистора.

При питании тензомоста от источника напряжения используются структуры КНС с более высокой степенью легирования, обеспечивающие меньшую температурную зависимость чувствительности тензопреобразователя [14]. Дополнительная компенсация температурной погрешности чувствительности ТП обеспечивается включением постоянного резистора последовательно с тензомостом.

Типичные значения зоны температурной погрешности чувствительности для общепромышленных датчиков показаны на рис. 4б.

Работоспособность в жестких условиях эксплуатации. Использование металлической мембраны и тензочувствительных элементов на основе структур КНС позволяет создавать датчики давления для работы в широком диапазоне жестких условий эксплуатации. Ранее были разработаны ТП давления криогенных сред, работающие с высокой точностью до температур ~ 2 К [15], а также показана работоспособность высокотемпературных ТП давления вплоть до 320 °С [16]. Если для высокоточных преобразователей давления криогенных сред достаточно оптимизации уровня легирования слоя кремния тензочувствительного элемента [2], то создание высокотемпературных датчиков давления требует комплекса физико-конструктивных и технологических решений. Отсутствие р-n-перехода в тензосхеме и высокие упругие и диэлектрические свойства сапфира ограничивают рабочую температуру тензочувствительных элементов величиной ~ 600 °С, при которой начинается заметная пластическая деформация кремния. Однако, на практике создание датчика давления, работающего при такой температуре с хорошей точностью, связано с преодолением ряда трудностей. Кроме выбора оптимальной степени легирования кремния, необходимо использовать титановый сплав, имеющий высокие упругие характеристики при высоких температурах. В настоящее время такие сплавы уверенно работают до температур порядка 500 °С. Большой проблемой являются омические контакты к кремнию, стойкие при высокой температуре. В высокотемпературных датчиках МИДА используются алюминиевые фольговые контакты, прикрепляемые непосредственно к кремниевым контактным площадкам ультразвуковой сваркой без использования переходного слоя. Такие контакты показали хорошую стабильность и высокую механическую прочность до температур ~ 400 °С. В качестве материала коллектора в высокотемпературных датчиках МИДА используется специальная пластмасса, устойчивая до ~ 500 °С, и никелевые выводы, а в качестве проводников - никелевый провод в стеклоизоляции. Хорошие возможности для создания датчиков давления высокотемпературных сред представляет двухмембранная конструкция: в этом случае температура воспринимающей давление мембраны может быть значительно выше температуры мембраны, на которой закреплен чувствительный элемент. В результате разработаны ТП давления для судовых дизелей с температурой измеряемых газов свыше 500 °С, тогда как температура чувствительного элемента ТП не превышает 300 °С.

Технические характеристики преобразователей давления

Промышленная группа МИДА выпускает тензорезисторные преобразователи избыточного (ДИ) и абсолютного (ДА) давления для общепромышленных и специальных применений.

Диапазоны измеряемых давлений ТП составляют от 0-0,04 МПа до 0-160 МПа (ДИ) и от 0-0,04 МПа до 0-4 МПа (ДА). Для зарубежных поставок (МИДА-ДИ(ДА)-61/62П) диапазоны измерения нормируются в psi (1 psi = 6,8948 кПа). Все ТП имеют нормированный выходной сигнал: при питании тензомоста постоянным напряжением (до 15 В) начальный выходной сигнал составляет $\pm 0,1$ мВ/В питания, а диапазон изменения выходного сигнала ($7\pm 0,1$) мВ/В и ($10\pm 0,1$) мВ/В (в зависимости от диапазона измерения). Точность преобразования определяется как корень квадратный из суммы квадратов нелинейности, вариации и повторяемости в нормальных условиях; для высокотемпературных ТП нормальными условиями является температура, соответствующая середине диапазона температурной компенсации.

Рабочий диапазон температур ТП составляет от -65 до +150 °С (МИДА-ДИ(ДА)-51/61П) или от +10 до +350 °С (МИДА-ДИ-52/62П). Температурная компенсация погрешностей осуществлена либо в диапазоне температур от -40 до +80 °С (МИДА-ДИ(ДА)-51/61П), либо в любом стоградусном интервале из рабочего диапазона температур для МИДА-ДИ-52/62П. При этом нормируется максимальная зона изменения выходного сигнала в компенсированном диапазоне температур. По специальному заказу температурная компенсация ТП может быть осуществлена и в другом интервале температур (например, 0...+120 °С). Нормирование характеристик высокотемпературных ТП не при комнатной температуре, а при фактическом значении температуры измеряемой среды, и температурная компенсация выходного сигнала ТП вокруг этой температуры повышает точность измерения давления высокотемпературных сред.

Штуцеры ТП имеют метрическую резьбу М20х1,5 или М12х1,5 для применения в России, странах СНГ, Чехии и Китае (МИДА-ДИ(ДА)-51/52П) или коническую (1/4-18 NPT), дюймовую (7/16-20 UNJ), а также другие типы резьбы для поставок в США (МИДА-ДИ(ДА)-61/62П). Электрическое соединение осуществляется через кабельный ввод, разъем или колодку с сальниковым уплотнением. В высокотемпературных ТП для измерения давления жидких и газообразных сред с температурой свыше 150 °С электрический вывод выполнен высокотемпературным проводом через трубку из нержавеющей стали длиной 150 мм. ТП для измерения давления газов в цилиндрах двигателей (МИДА-ДИ-55П) выполнен в виде модуля, который можно вставлять в датчики, используемые в системах контроля двигателей.

Кроме преобразователей давления общепромышленного назначения МИДА-ДИ(ДА)-51/61П разработан и выпускается преобразователь абсолютного давления (МИДА-ДА-53П) для систем управления двигателем автомобиля, в котором тензочувствительный элемент из КНС вакуумноплотно припаян к керамическому корпусу и служит одновременно воспринимающей давление мембраной. Измеряемое давление подается в ТП со стороны тензочувствительной схемы, что позволяет получать ТП с малой нелинейностью преобразования при достаточно высокой чувствительности [17]. ТП имеет пластмассовый корпус и торцевые выводы, позволяющие монтировать его на печатной плате.

Более подробные характеристики ТП давления приведены в табл. 1 и на рис. 3,4.

Технические характеристики датчиков давления

Промышленной группой МИДА разработаны и выпускаются ряд общепромышленных и специальных датчиков давления. Общепромышленные датчики МИДА-ДИ-01П и МИДА-ДИ(ДА)-13П имеют диапазоны измерения от 0-0,04 до 0-160 МПа и выпускаются с основной погрешностью 0,25 и 0,5%. Они работают в рабочем диапазоне температур от -40 до $+80$ °С; зона дополнительной температурной погрешности составляет не более 3% для датчиков с основной погрешностью 0,25% и 4% для датчиков с основной погрешностью 0,5%. Датчик МИДА-ДИ(ДА)-13ПК с микропроцессорной обработкой выходного сигнала ТП имеет суммарную погрешность измерения в рабочем диапазоне температур 0,25 или 0,5%. Выходной сигнал датчиков 0-5 или 4-20 мА или 0-5 В. Датчики выпускаются также во взрывобезопасном варианте (исполнения типа «искробезопасная цепь» или «взрывонепроницаемая оболочка»). Разработан датчик для судов, характеристики которого согласованы с Морским регистром РФ. Датчики МИДА-ДИ-01П и МИДА-ДИ(ДА)-13П разрешены для применения в атомной энергетике.

Датчики МИДА-ДИ-12П имеют те же пределы измерения, но предназначены для измерения избыточного давления газообразных или жидких сред с высокой (до 350 °С) температурой. Поэтому первичный преобразователь и электронный блок таких датчиков выполнены отдельно и соединяются либо высокотемпературным кабелем (при температуре измеряемой среды до 150 °С), либо высокотемпературным проводом в трубке из нержавеющей стали (при температуре до 350 °С). Датчики имеют основную погрешность (определяемую при заданной рабочей температуре) 0,5% и зону дополнительной температурной погрешности 4% в диапазоне температур 100 °С вокруг рабочей температуры.

Для измерения давления расплавов и других вязких сред с температурой до 300 °С разработаны и выпускаются датчики МИДА-ДИ-06П и МИДА-ДИ-07П с открытой приемной мембраной. Датчики МИДА-ДИ-07П по установочным размерам эквивалентны обычно используемым зарубежным датчикам расплавов полимеров, но в отличие от последних не содержат ртути, передающей давление из горячей зоны в холодную. По метрологическим характеристикам эти датчики аналогичны высокотемпературным датчикам МИДА-ДИ-12П.

Датчики МИДА-ДИ-08П с открытой мембраной разработаны для измерения давления газов и жидкостей, содержащих твердые взвеси, которые забивают входные отверстия отводных трубок с обычными датчиками. Диапазон измеряемых избыточных давлений составляет от 0-4кПа до 0-1 МПа, рабочий диапазон температур измеряемой среды $-40...+200$ °С. Основная погрешность 0,5 и 1,0%, зона дополнительной температурной погрешности от 4 до 6 % в 100-градусном интервале.

Датчики МИДА-ДА-04П разработаны для систем контроля работы двигателя в автомобиле на базе ТП МИДА-ДА-53П. По своим параметрам они являются аналогами соответствующих датчиков фирм Bosch и General Motors.

Более подробные данные о характеристиках датчиков приведены в табл.2.

Таким образом, использование структур КНС и двухслойной и двухмембранной конструкций преобразователя давления позволило создать ряд датчиков давления МИДА общепромышленного и специального назначения, обеспечивающих текущие и перспективные потребности различных отраслей промышленности, транспорта, энергетики и коммунального хозяйства. Успешный экспорт преобразователей и датчиков МИДА в развитые страны доказывает их высокую конкурентоспособность на мировом рынке.

Более подробную информацию о продукции группы МИДА, включая габаритные чертежи приборов, можно найти в Интернете на странице <http://www.midaus.com>.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Стучебников В.М.* Микроэлектронные датчики за рубежом. // Приборы и системы управления, 1993, № 1, с.18-21.
2. *Stuchebnikov V.M.* SOS strain gauge sensors for force and pressure transducers. // Sensors & Actuators, 1991, v.28, No 3, pp. 207-213.
3. *Стучебников В.М.* Тензорезисторные преобразователи на основе гетероэпитаксиальных структур «кремний на сапфире». // Измерения, контроль, автоматизация//Н.-т. сборник, 1983, № 1(45), с.30-42.
4. *Лурье Г.И., Стучебников В.М.* Измерение давления в криогенных средах. // Измерения, контроль, автоматизация//Н.-т. сборник, 1989, № 2(70), с.18-25.
5. *Евдокимов В.И., Суханов В.В.* Первичные преобразователи давления высокотемпературных сред. // Измерения, контроль, автоматизация//Н.-т. сборник, 1989, № 2(70), с.26-33.
6. Датчики давления МТ-100. Преобразователи измерительные Сапфир-22М. // Номенклатурный каталог АО Манометр, М, 1996.
7. Датчики – преобразователи давления. // Номенклатурный каталог концерна Метран. Челябинск, 1995.
8. High accuracy 4-20 mA sapphire sensor. // Bourns Pressure Transmitters (Каталог фирмы), 1995, p.12.
9. *Белоглазов А.В., Евдокимов В.И., Стучебников В.М. и др.* Полупроводниковые тензопреобразователи силы и давления на основе гетероэпитаксиальных структур «кремний на сапфире». // Приборы и системы управления, 1982, № 5, стр.21, 22, 27.
10. *Стучебников В.М.* Физико-технологические методы оптимизации метрологических характеристик полупроводниковых тензопреобразователей. // Датчики систем измерения, контроля и управления//Межвуз. Сборник научных трудов. Вып. 5. Пенза: ППИ, 1985, с.18-25.
11. *Лурье Г.И., Стучебников В.М., Суханов В.И.* Линеаризация выходного сигнала тензопреобразователей на основе структур КНС. // Теоретические и экспериментальные исследования в области создания полупроводниковых измерительных преобразователей//Сб. научн. трудов. М.:НИИТеплоприбор, 1986, с.15-25.
12. *Лурье Г.И., Стучебников В.М. и др.* Способ настройки интегрального тензомоста с питанием от источника тока. // АС СССР № 1411571, 1988.
13. *Ваганов В.И.* Интегральные тензопреобразователи. М.: Энергоатомиздат, 1983, 137 с.
14. *Белоглазов А.В., Бейден В.Е. и др.* Тензорезистивный эффект в сильнолегированных гетероэпитаксиальных слоях кремния р-типа на сапфире. // Электронная техника. Сер. Материалы, 1977, № 5, с.45-49.

15. *Евдокимов В.И., Лурье Г.И., Стучебников В.М.* Полупроводниковые тензопреобразователи для измерения давления криогенных сред. // Приборы и системы управления, 1985, № 8, с.19-20.
16. *Евдокимов В.И., Суханов В.И. и др.* Полупроводниковые измерительные преобразователи давления высокотемпературных сред. // Приборы и системы управления, 1986, № 11, с.16-17.
17. *Папков Н.С., Папков В.С., Стучебников В.М.* Нелинейность механического преобразования в микроэлектронных датчиках давления. // Датчики и системы, 1999, № 5, с.30-34.

Сведения об авторах

Евгений Евгеньевич Бушев – директор СП МИДАУС, г. Ульяновск.

Олег Леонидович Николайчук – канд. техн. наук, генеральный директор ЗАО МНС, г. Ульяновск.

Владимир Михайлович Стучебников – д-р техн. наук, профессор, заместитель генерального директора ГП УЦМ, г. Ульяновск.

Контактный телефон (8422) 34-95-18.

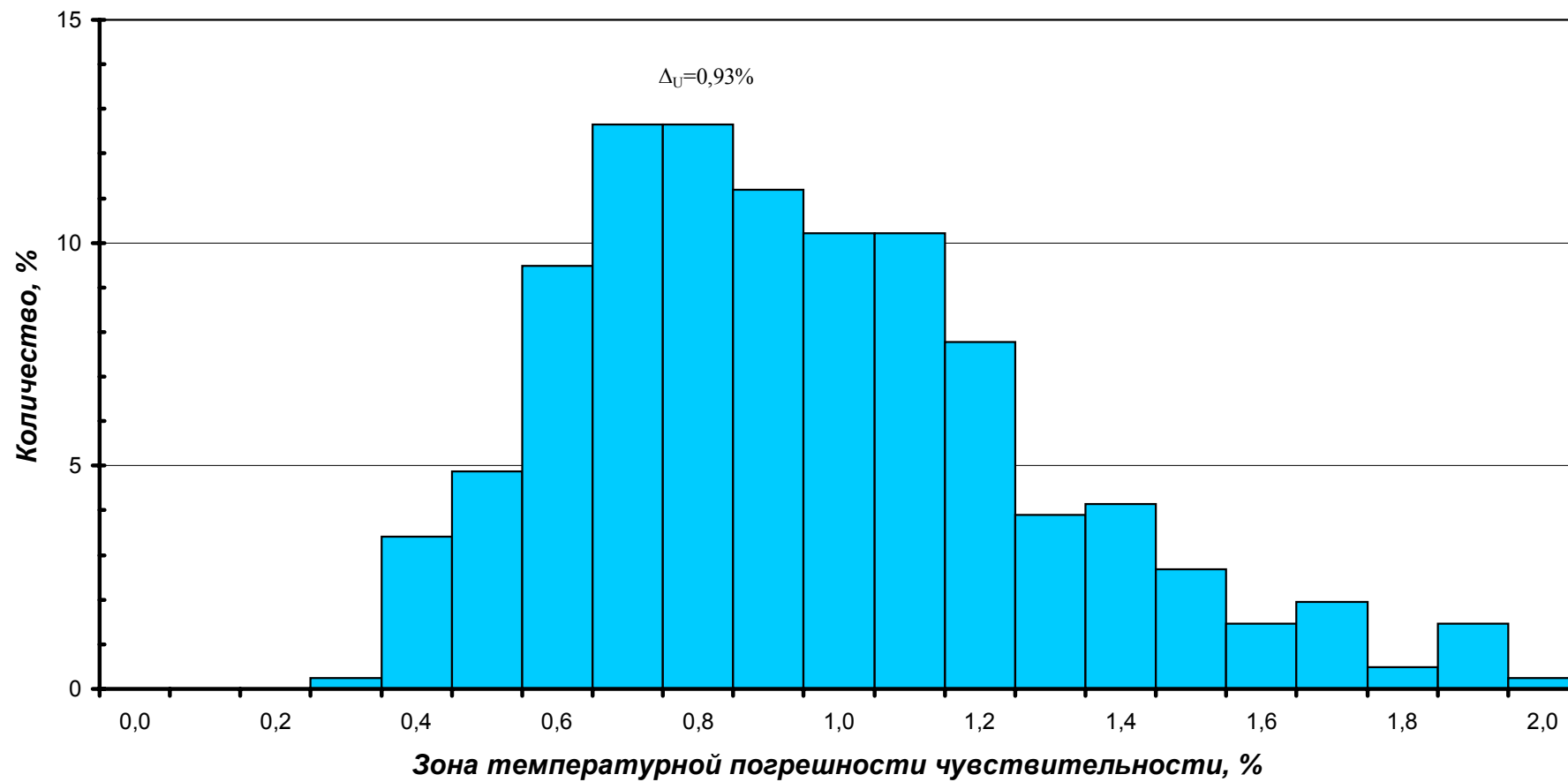
Таблица 1

Обозначение	Область применения	Диапазоны измерений	Точность, %	Выходной сигнал, мВ/В	Т-ра измер. среды, °С	Комп.диап.г-р Погрешность, %	Исполнение	Габариты, мм	Масса, г
МИДА-ДИ-51П	системы контроля и регулирования	от 0-0,1 до 0-60 МПа	±0,1 и 0,2	0,1-10	-50...+150	-40...+80 1,5 или 2,5	IP 65	Ø25×80 Ø31×95	110
МИДА-ДА-51П	системы контроля и регулирования	от 0-0,1 до 0-10 МПа	±0,1 и 0,2	0,1-10	-50...+150	-40...+80 1,5 или 2,5	IP 65	Ø25×100 Ø31×115	120
МИДА-ДИ-52П	высокотемпературный	от 0-0,1 до 0-60 МПа	0,25 и 0,5	0,2-7	+50...+350	100 °С из интервала 3,0 или 4,0	IP 64	Ø25×67(256)	130
МИДА-ДА-53П	автомобильный	12-110 кПа	0,5	0,5-5	-40...+105	4	IP 54	20×22×30	20
МИДА-ДИ-55П	системы диагностики дизелей	от 0-6 до 0-100 МПа	0,5 и 1,0	0,5-5	+50...+500	Погр-ть чувствит. 4	Модульное исполнение	Ø25×80	65
МИДА-ДИ-61П	систем контроля и регулирования	от 0-30 до 0-5000 psi	±0,1 и 0,2	0,1-10	-50...+150	-40...+80 1,5 или 2,5	IP 65	Ø25×80 Ø31×89	110
МИДА-ДА-61П	системы контроля и регулирования	от 0-30 до 0-1000 psi	±0,1 и 0,2	0,1-10	-50...+150	-40...+80 1,5 или 2,5	IP 65	Ø25×100 Ø31×115	120
МИДА-ДИ-62П	высокотемпературный	от 0-1000 до 0-5000 psi	0,25 и 0,5	0,2-7	+50...+150	100 °С из интервала 3,0 или 4,0	IP 64	Ø25×66(260)	130

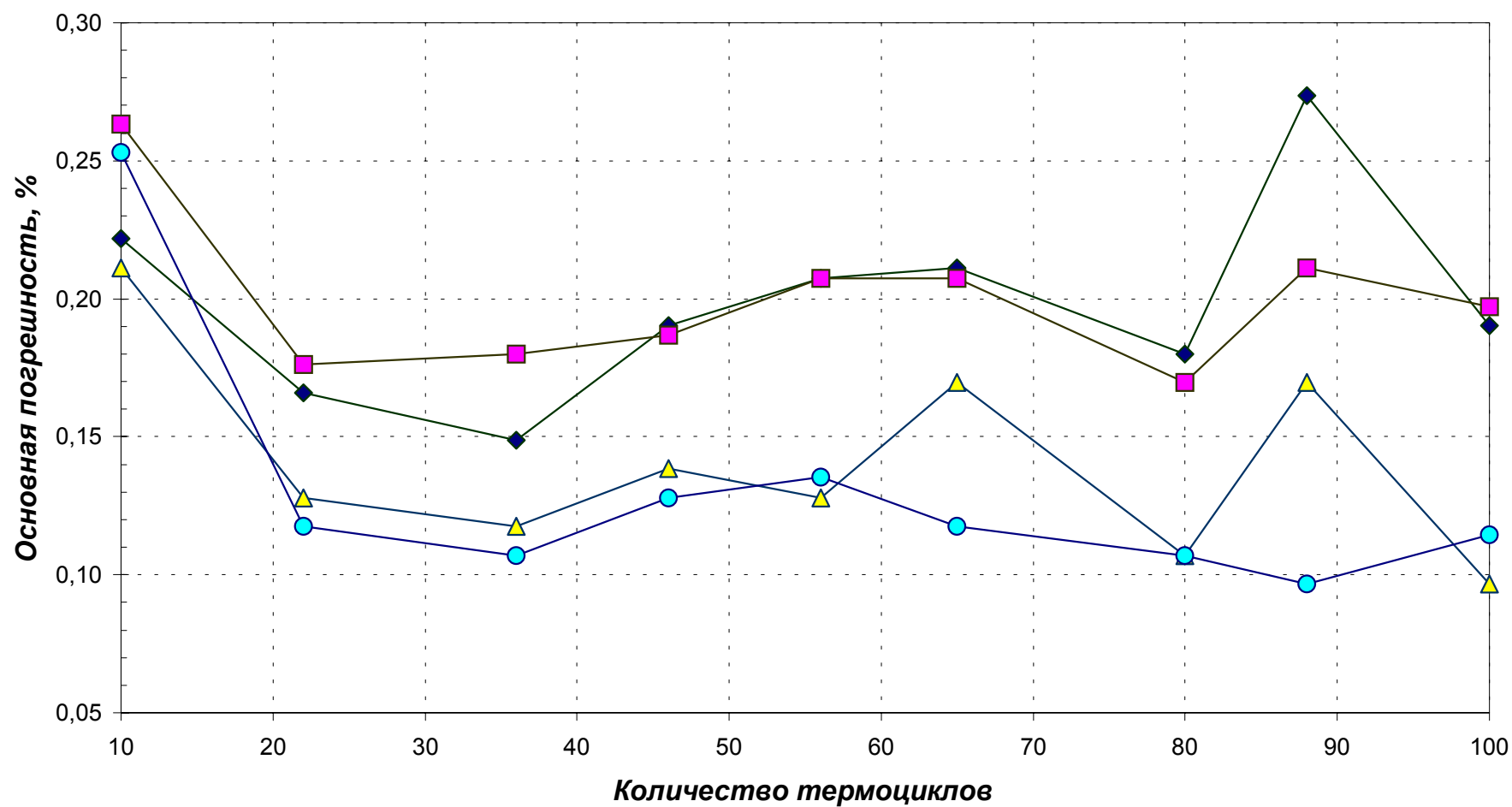
Таблица 2

Обозначение	Область применения	Диапазоны измерений, МПа	Основная погр-ть, %	Выходной сигнал	Т-ра измер. среды, °С	Комп.диап.г-р Погрешность, %	Исполнение	Габариты, мм	Масса, г
МИДА-ДИ-01П; МИДА-ДИ-01П-Ех	общепромышленный; для нефтегазовой промышленности	от 0-0,04 до 0-160	0,25 и 0,5	4-20 мА, 0-5 мА, 0-5 В	-40...+80	3 или 4	IP 54	Ø40×105(135)	300
МИДА-ДИ-01П-Вн	для нефтегазовой промышленности	от 0-0,04 до 0-160	0,25 и 0,5	4-20 мА, 0-5 мА, 0-5 В	-40...+80 IP 54	3 или 4	IP 54	Ø45×165×152	500
МИДА-ДИ-01П-Сд; МИДА-ДИ-01П-Ех-Сд	для речных и морских судов	от 0-0,25 до 0-10	0,5 и 1,0	4-20 мА, 0-5 мА, 0-5 В	-40...+80 IP 54	4 или 6	IP 55	Ø40×130	300
МИДА-ДВ-01П; МИДА-ДВ-01П-Ех	общепромышленный; для нефтегазовой промышленности	от 0-0,04 до 0-0,1	0,25 и 0,5	4-20 мА, 0-5 мА, 0-5 В	-40...+80 IP 54	3 или 4	IP 54	Ø40×105(135)	300
МИДА-ДИВ-01П; МИДА-ДИВ-01П-Ех	общепромышленный; для нефтегазовой промышленности	От (- 0,02)-0,04 до (-0,1)-2,4	0,5 и 1,0	4-20 мА, 0-5 мА, 0-5 В	-40...+80 IP 54	3 или 4	IP 54	Ø40×105(135)	300
МИДА-ДА-01П; МИДА-ДА-01П-Ех	общепромышленный; для нефтегазовой промышленности	от 0-0,04 до 0-2,5	0,25 и 0,5	4-20 мА, 0-5 мА, 0-5 В	-40...+80 IP 54	3 или 4	IP 54	Ø40×105(135)	300
МИДА-ДА-04П	автомобильный	0,012-0,105	1,0	0,109-4,85 В	-40...+105	5	IP 65	40×80×30	50
*МИДА-ДД-05П; *МИДА-ДД-05П-Ех	общепромышленный; для нефтегазовой промышленности	от 0-0,01 до 0-0,6	0,25 и 0,5	4-20 мА, 0-5 мА, 0-5 В	-40...+80	0,3 или 0,5	IP 55	110×130×250	6 кг
МИДА-ДИ-06П; МИДА-ДИ-06П-Ех	высокотемп. для произ-ва полимеров; то же и химическая промышленность	от 0-10 до 0-100	0,5 и 1,0	4-20 мА, 0-5 мА, 0-5 В	+10...+300	100 °С из интервала 4,0 или 6,0	IP 64	ПП Ø28×50 ЭБ Ø32×100	500
*МИДА-ДИ-07П; *МИДА-ДИ-07П-Ех	высокотемп. для произ-ва полимеров; то же и химическая промышленность	от 0-10 до 0-100	0,5 и 1,0	4-20 мА, 0-5 мА, 0-5 В	+50...+350	100 °С из интервала 4,0 или 6,0	IP 64	ПП Ø25×200 ЭБ Ø32×100	500
МИДА-ДИ-08П МИДА-ДИ-08П-Ех	системы контроля газов и газовых смесей	от 0-4 кПа до 0-40 кПа	0,5	4-20 мА	+10...+200	100 °С из интервала 5,0	IP 64	Ø38×185	300
МИДА-ДИ-12П; МИДА-ДИ-12П-Ех	высокотемпературный общепром.; для нефтегазовой промышленности	от 0-0,1 до 0-160	0,25 и 0,5	4-20 мА, 0-5 мА, 0-5 В	+10...+350	100 °С из интервала 2,0 или 4,0	IP 64	ПП Ø32×200 ЭБ Ø32×100	500
МИДА-ДИ-13П; МИДА-ДИ-13П-Ех	малогабаритный общепром.; для нефтегазовой промышленности	от 0-0,04 до 0-160	0,25 и 0,5	4-20 мА, 0-5 мА	-40...+80	2,0 или 3,0	IP 65	Ø32×110(150)	200
МИДА-ДА-13П; МИДА-ДА-13П-Ех	малогабаритный общепром.; для нефтегазовой промышленности	от 0-0,04 до 0-2,5	0,25 и 0,5	4-20 мА, 0-5 мА	-40...+80 IP 65	2,0 или 3,0	IP 65	Ø32×110(150)	200
*МИДА-ДИ-13ПК; *МИДА-ДИ-13ПК-Ех	высокоточный общепромышленный; для нефтегазовой промышленности	от 0-0,04 до 0-160	0,25 и 0,5 суммарная	4-20 мА, 0-5 мА	-40...+80	< 0,2	IP 65	Ø32×110(150)	200

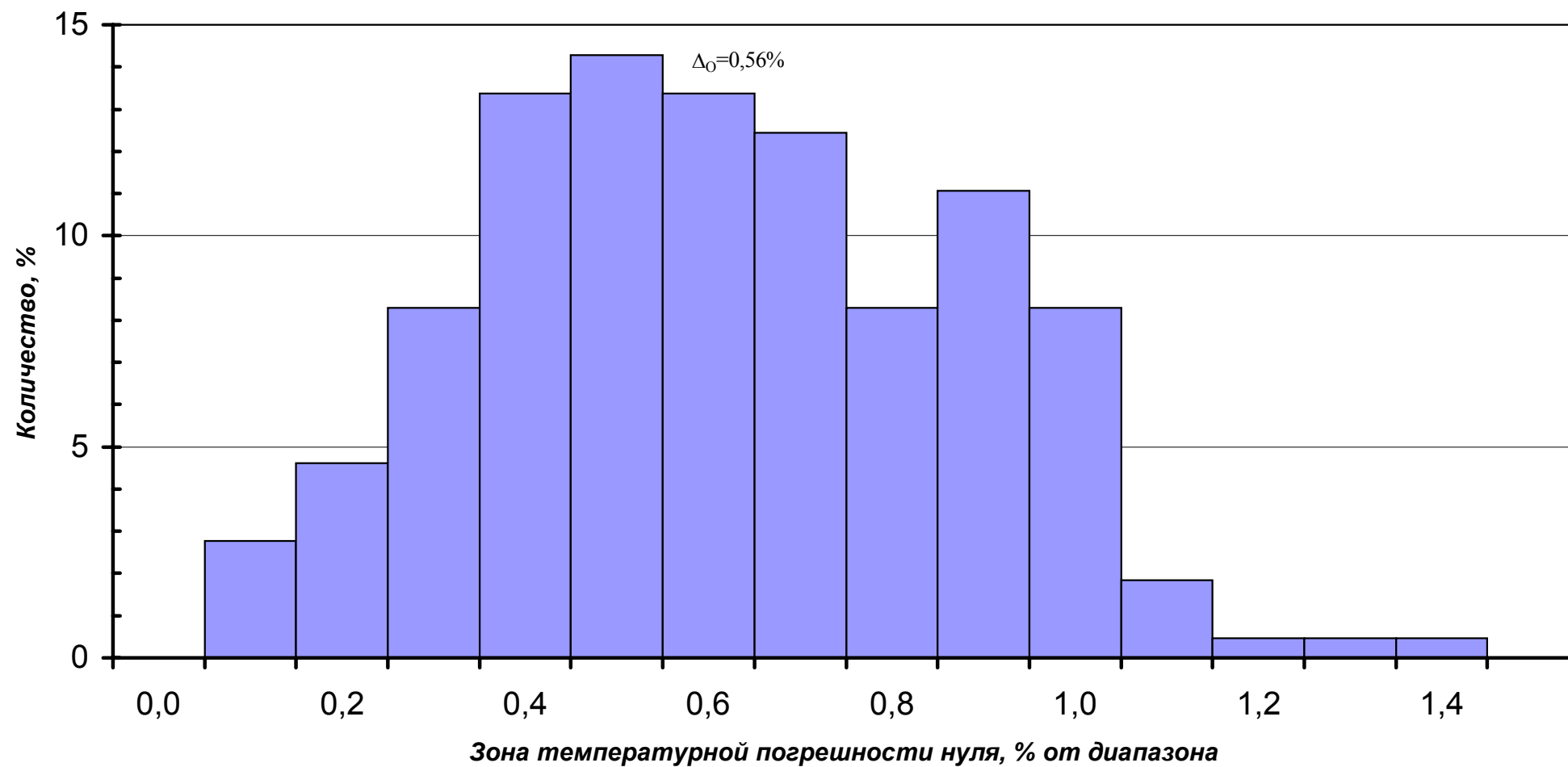
**Температурная погрешность чувствительности датчиков МИДА-ДИ-01П
(1,0 МПа, 411 шт.) в диапазоне -40...+80 °С**



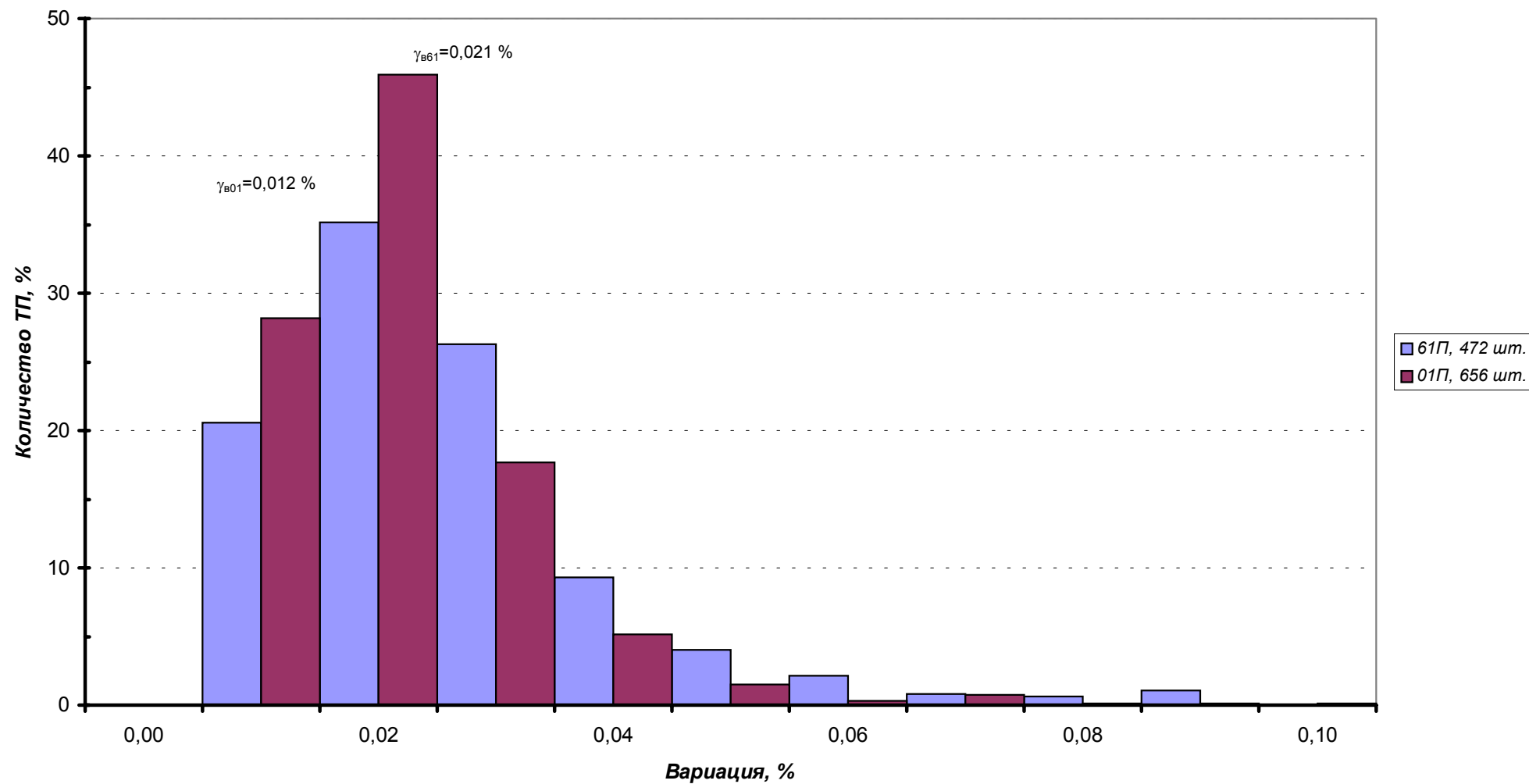
Изменение основной погрешности датчиков МИДА-ДИ-13П после термоциклирования в диапазоне -40...+80 °С



Температурная погрешность начального сигнала датчиков МИДА-ДИ-01П
(1,0 МПа, 217 шт.) в диапазоне -40...+80 °С



Вариация тензопреобразователей МИДА-ДИ-61П (20 МПа) и МИДА-ДИ-01П (1МПа)



Нелинейность тензопреобразователей МИДА-ДИ-61П (20 МПа)
и МИДА-ДИ-01П (1 МПа)

