
Толщинометрия защитных покрытий на трубах магистральных нефте- и газопроводов



**Бакунов
Александр
Сергеевич**

Заведующий отделом электромагнитной диагностики металлоизделий ЗАО «Научно-исследовательский институт интроскопии МНПО «Спектр», г. Москва, к. т. н., специалист III уровня по магнитному и вихретоковому методам.

Надежность магистральных трубопроводов существенно зависит от качества защитных покрытий. Сегодня в качестве изоляции применяют, как правило, полимерные покрытия, толщина которых должна быть не менее 3 мм. Покрытие на новые трубы наносится уже на трубопрокатных заводах, где оно подвергается тщательному контролю качества, в том числе и по толщине. Поэтому при строительстве трубопроводов сплошной контроль качества изоляции не требуется. Однако такая задача стоит при замене изоляции на действующих трубопроводах, находящихся в эксплуатации в течение многих лет.

Статья посвящена проведению сплошного контроля толщины изоляционного покрытия как на новых трубах в процессе его нанесения на трубопрокатных заводах, так и на действующих трубопроводах при их ремонте и переизоляции.

Контроль толщины защитных покрытий на трубах проводят, в основном, с помощью ручных портативных толщиномеров. В первую очередь, это индукционные толщиномеры, работающие на низких частотах [1]. Конкуренцию им составляют магнитостатические толщиномеры [1], в частности, магнитный толщиномер защитных покрытий МТП-01 [2]. К их достоинствам следует отнести простоту схемного решения, а, следовательно, более высокую надежность приборов. В то же время современные преобразователи Холла, используемые в качестве измерителей индукции магнитного поля в зазоре между магнитом измерительного преобразователя и поверхностью основания, обеспечивают высокую точность и стабильность измерений как во времени, так и в широ-

ком диапазоне изменения температуры окружающей среды и ОК. Кроме того, магнитостатические толщинометры в отличие от индукционных могут измерять толщину и электропроводящих немагнитных покрытий, так как они не создают вихревых токов в изделии.

Основным недостатком любых ручных толщиномеров является выборочный контроль толщины покрытия в отдельных точках, так как просканировать всю поверхность трубы в ручном режиме практически невозможно. При таком режиме контроля возможен пропуск мест, где толщина покрытия может быть меньше допустимого значения. Для снижения вероятности брака по толщине покрытия заводы-производители труб идут на заведомое увеличение толщины покрытия. Однако при этом значительно увеличивается расход дорогостоящего материала покрытия, что заметно повышает себестоимость продукции.

Радикальным решением проблемы снижения себестоимости труб с покрытием является обеспечение сплошного контроля толщины защитного покрытия в процессе его нанесения. Первым российским предприятием, которое просчитало выгоду от такого контроля, был Челябинский трубопрокатный завод. В результате ЗАО НИИИН МНПО «Спектр» по техническому заданию ОАО «Челябинский трубопрокатный завод» и совместно с самим заводом разработали, изготовили и внедрили в линию нанесения защитных покрытий на трубы автоматизированную установку — магнитный толщиномер МТП-10П.

Принцип действия толщиномера основан на магнитостатическом методе измерения толщины покрытий. Блок измерительных преобразователей состоит из четырех каналов и расположен на выходе камеры охлаждения. Его конструкция такова, что при вращательно-поступательном движении трубы обеспечивается сплошной контроль всей ее поверхности (рис. 1). Установка состоит из собственно толщиномера и устройства автоматики.

Устройство автоматики, разработанное и изготовленное заказчиком, обеспечивает установку блока измерительных преобразо-



Рис. 1. Внешний вид блока преобразователей МТП-10П

вателей на поверхность трубы с учетом ее диаметра и подъем блока при прохождении разрыва труб.

Толщиномер состоит из блока измерительных преобразователей, электронного блока и персонального компьютера. Структурная схема

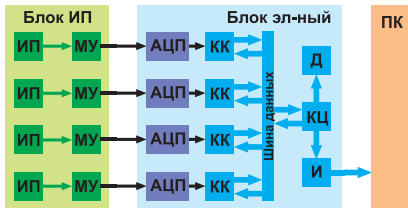


Рис. 2. Структурная схема толщиномера МТП-10П

толщиномера представлена на рис. 2. Прибор имеет четыре идентичных измерительных канала. В блоке измерительных преобразователей (блок ИП) находятся, соответственно, четыре преобразователя ИП и масштабирующие усилители МУ. Каждый измери-

тельный преобразователь ИП, в свою очередь, состоит из постоянного магнита и схемы с преобразователем Холла, измеряющим индукцию магнитного поля в зазоре между магнитом и стальной поверхностью трубы. Схема также содержит блок термокомпенсации системы «постоянный магнит-преобразователь Холла», которая практически полностью исключает температурный дрейф системы в широком диапазоне изменений температуры окружающей среды. Масштабирующие усилители МУ преобразуют диапазоны изменений выходных напряжений соответствующих преобразователей Холла под динамические диапазоны аналого-цифровых преобразователей АЦП, расположенных в электронном блоке. Оцифрованные сигналы со всех АЦП поступают одновременно на соответствующие контроллеры каналов КК. Эти контроллеры преобразуют входные сигналы в значения измеренной толщины покрытия, а также по специальному алгоритму обнаруживают сварные швы на трубе и отдельно вычисляют значения толщины покрытия на шве. Такая процедура необходима в связи с тем, что в соответствии с техническими требованиями на покрытия на сварном шве допускается толщина покрытия на 0,5 мм меньше, чем на теле трубы. Выходы всех контроллеров каналов КК через единую шину данных объединены с центральным контроллером КЦ, который собирает данные о всех результатах контроля и выдает текущие значения толщины на цифровой дисплей Д электронного блока, а также через интерфейс И передает полную информацию в персональный компьютер ПК. В качестве интерфейса используется RS485.

Такая архитектура толщиномера позволяет получить высокое быстродействие прибора (менее 1 мс на одно измерение), что исключает про-

пуск сварного шва и обеспечивает точное измерение минимального значения толщины на этом шве.

Дисплей D электронного блока используется в основном только для проверки правильности настройки пределов измерений толщиномера, которая выполняется раз в смену. Персональный компьютер установлен в кабине оператора, управляющего процессом нанесения покрытия. При этом оператор по информации на дисплее компьютера в реальном времени может отслеживать процесс изменения толщины покрытия по всей поверхности трубы. Информация о толщине покрытия на сварном шве индицируется отдельно.

Для удобства восприятия вся информация о толщине представляется в графическом виде как пространственная развертка с указанием порогового значения минимально допустимой толщины. Это позволяет оператору корректировать технологический процесс нанесения толщины и обеспечивать ее значения в пределах допуска с минимальным запасом. Значительная экономия дорогостоящего материала покрытия в этом случае очевидна, и все затраты на внедрение такого толщиномера окупаются уже через несколько месяцев его эксплуатации.

Основные технические характеристики толщиномера МТП-10П следующие:

- диапазон измерений — $1 \div 5$ мм;
- абсолютная погрешность измерений — не более $(0,02X + 0,05)$ мм, где X — измеряемое значение толщины покрытия;
- время установления рабочего режима — не более 5 мин;
- время одного измерения — не более 1 мс;
- режим работы толщиномера — непрерывный;
- электропитание осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц через блок бесперебойного питания;
- потребляемая от сети мощность — не более 8 В·А;
- диапазон рабочих температур:
 - для электронного блока — $1 \div 35$ °С;
 - для блока преобразователей — $1 \div 60$ °С;

Степень защиты толщиномера от проникновения твердых тел и воды по ГОСТ 14254–96:

- IP40 для электронного блока;
- IP54 для блока преобразователей.

Габаритные размеры:

- электронного блока — 178 × 136 × 230 мм;
 - блока преобразователей — 303 × 264 × 316 мм.
- Масса не более:
- электронного блока — 1,5 кг;
 - блока преобразователей — 10 кг.



Рис. 3. Расположение узлов толщиномера МТП-10П в цехе ОАО «ЧТПЗ»

На рис. 3 показан участок цеха № 6 ОАО «ЧТПЗ» с размещенным там толщиномером МТП-10П. Здесь видно механическую стойку 1 с подвижной консолью, на конце которой подвешен блок 2 преобразователей. Рядом находится блок 3 управления механизацией. В шкафу 4 с различным оборудованием размещен электронный блок толщиномера. Консоль по стойке может перемещаться

вверх-вниз и фиксироваться в положении, соответствующем диаметру контролируемых труб. При прохождении разрыва трубы конец консоли с блоком преобразователей находится в приподнятом положении для свободного прохождения концов трубы. Как только под блоком преобразователей оказывается начало трубы, конец консоли автоматически опускается на ее поверхность, и начинается контроль толщины покрытия. При приближении конца трубы блок преобразователей на консоли автоматически поднимается вверх. Труба в зоне контроля совершает вращательно-поступательное движение. Расстояние между крайними измерительными преобразователями в блоке (рис. 1) выбрано близким к пути продвижения трубы вперед за один оборот. Этим обеспечивается сплошной контроль толщины покрытия на всей трубе.

Конструкция толщиномера построена по модульному типу. Все узлы прибора в любом из каналов являются взаимозаменяемыми. Это обеспечивает при минимальном наборе запасных частей быструю замену вышедшего из строя узла. Информация об отказе в каком-либо измерительном канале отображается на дисплее у оператора. При этом другие каналы продолжают функционировать в обычном режиме так, что выход из строя одного из каналов незначительно сказывается на результатах контроля. На замену вышедшего из строя узла требуется всего лишь 15–20 мин.

Основываясь на опыте многолетней эксплуатации толщиномера МТП-10П, в ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр» на базе этого прибора был создан четырехканальный магнитный толщиномер МТП-10Т, предназначенный для непрерывного контроля толщины изоляционного покрытия на действующих трубопроводах при их переизоляции.

В отличие от заводских условий при переизоляции машина, наносящая покрытие на трубопровод, движется вдоль него поступательно. Поэтому сама собой напрашивается компоновка толщиномера на браслете, охватывающем трубу, который крепится к изолирующей машине сзади.

На рис. 4 показан внешний вид магнитного толщиномера МТП-10Т. Все его узлы крепятся на браслете 1. В состав прибора входят четыре отдельных измерительных преобразователя, установленных на тележках 2, а также электронный блок 3 и датчик 4 пути.



Рис. 4. Внешний вид толщиномера МТП-10Т

В отличие от толщиномера МТП-10П здесь четыре измерительных преобразователя разнесены так, чтобы при сканировании трубопровода контролировались диаметрально противоположные образующие. Отличительной особенностью структурной схемы прибора МТП-10Т является, в первую очередь, наличие интерфейса карты памяти вместо интерфейса RS485. Таким образом, вся информация о проконтролированной толщине, включая дополнительную информацию об участке контроля, дате, ФИО оператора и т. п., записывается в автоматическом режиме на карту памяти. Шаг сканирования (расстояние между двумя соседними точками измерения) — 25 мм. Отсчет расстояния осуществляется реверсивным датчиком 4 пути, сигнал с которого руководит запуском центрального контроллера КЦ (рис. 2). При такой реализации требуется примерно 1 Мбайт памяти на 1 км пути. Так как современные карты памяти имеют объем 1 Гбайт и более, на одной карте памяти может храниться информация о проконтролированных 1000 км и более.

Главное же достоинство использования такого толщиномера заключается в том, что весь процесс контроля толщины изоляции происходит в автоматическом режиме без участия человека, что исключает влияние субъективного фактора на результаты контроля. В случае, если по любому из каналов толщина покрытия вышла за пределы допуска, прибор известит оператора звуком мощной сирены.

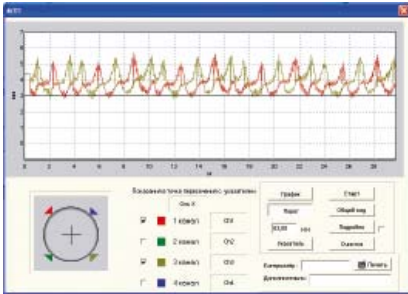


Рис. 5. Представление информации о результатах измерений толщины покрытий на мониторе компьютера

Записанная на карту памяти информация может быть прочитана на любом персональном компьютере с помощью входящего в комплект поставки программного обеспечения. Вид отображаемой на мониторе компьютера информации показан на рис. 5. Пользователь может отобразить на мониторе как одновременно все каналы по всей длине проконтролированного участка, так и выделить отдельный фрагмент

участка. Количество отображаемых каналов и их номера в произвольном порядке также устанавливает пользователь. В качестве примера на рис. 5 показана информация об измерениях для первого и третьего каналов. Значительные колебания толщины на графиках и смещение максимумов обусловлены наличием спирального шва на трубе. По оси ординат откладываются значения толщины покрытия, а по оси абсцисс — координаты точек измерения от начальной точки отсчета. На графике выделяются места, где толщина покрытия выходит за пределы установленного допуска. Значение допустимого порога пользователь может задавать любое. По умолчанию установлено значение минимально допустимой толщины равное 3 мм. Результаты контроля толщины покрытия на любом участке или его фрагменте могут быть распечатаны в виде протокола.

Основные технические характеристики толщиномера МТП-10Т несколько отличаются от исполнения МТП-10П:

- диаметр контролируемых труб — 1020, 1220, 1420 мм;
- диапазон измерений — 1 ÷ 10 мм;
- основная абсолютная погрешность измерений — не более $(0,05 + 0,03X)$ мм, где X — измеряемая толщина покрытия;
- количество независимых измерительных каналов — 4;

- индикация результатов измерений — цифровая по каждому каналу плюс звуковая при уменьшении толщины покрытия ниже допустимого (порогового) значения в любом из измерительных каналов;
- автоматическая регистрация результатов измерений на карте памяти;
- объем памяти, необходимой для запоминания результатов измерений, около 1 Мбайт/км;
- электропитание — от встроенного аккумулятора;
- время работы без подзарядки — не менее 24 ч;
- диапазон рабочих температур — от -30 до + 50 °С;
- степень защиты от проникновения твердых тел и воды по ГОСТ 14254-96 — IP54;
- масса толщиномера с браслетом — около 60 кг.

Выводы

Создано семейство автоматизированных магнитных толщиномеров МТП-10 для контроля защитных покрытий на трубах магистральных трубопроводов как в процессе его нанесения в производственных условиях (МТП-10П), так и при переизоляции действующих трубопроводов (МТП-10Т).

Использование этих толщиномеров позволяет повысить надежность покрытий за счет оперативного контроля их толщины в процессе нанесения при минимизации расхода материала покрытия.

Толщиномер МТП-10П внедрен в линию нанесения покрытий на трубы в ОАО «Челябинский трубопрокатный завод», где он успешно эксплуатируется на протяжении нескольких лет. Все расходы по его разработке, изготовлению и вводу в эксплуатацию окупилась в первый же год.

Толщиномер МТП-10Т также был изготовлен и успешно прошел полевые испытания.

Литература

1. Справочник в 7 т. Неразрушающий контроль./Под общ. ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 2004. Т. 6. С. 67–72.
2. Бакунов А. С., Мужичкий В. Ф., Сулимин В. Д. Неразрушающий контроль коррозионных повреждений магистральных газо- и нефтепроводов под защитным покрытием и измерение толщины этого покрытия. — Дефектоскопия. 1996. № 2. С. 9–11.