

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ТРУБ (DEVELOPMENT CONTROL SYSTEM OF INTERNAL DIAMETER FOR ELECTRICAL CONDUCTING PIPES)

ЧжунЯн
Zhong Yang

Томский политехнический университет
E-mail: yan.tchzhun@yandex.ru

Рассмотрены актуальность разработки системы контроля внутреннего диаметра электропроводящих труб и её состав. Приведены конструкция накладного трансформаторного вихретокового преобразователя и его принцип действия. Приведены результаты математического моделирования и экспериментов. Представлены графики расчетного и экспериментального результатов. Показано, что система контроля внутреннего диаметра работает с высокой точностью и может применяться на практике.
(We considered the relevance of development control system of internal diameter for conductive pipes and its composition. We give the construction of overhead transforming eddy current transducer and its measurement principle. We showed the results of mathematical modeling and experiments. The theoretical calculated and experimental results are showed in graphs. In the end we can say that the control system of internal diameter works with high accuracy and can be used in practice.)

Ключевые слова:

Система контроля внутреннего диаметра, накладный трансформаторный вихретоковый преобразователь, математическое моделирование, внутренний диаметр, контроль, измерение, точность.

(Control system of internal diameter, overhead transforming eddy current transducer, mathematical modeling, internal diameter, control, measurement, accuracy.)

Для обеспечения надежности при эксплуатации различных электропроводящих труб необходимо контролировать в процессе производства различные параметры труб. Наиболее важным из этих контролируемых параметров является внутренний диаметр трубы. Отсюда вытекает актуальность разработки системы контроля внутреннего диаметра электропроводящих труб.

Система контроля внутреннего диаметра (СКВД) состоит из генератора, измерительного зонда, схемы амплитудно-фазовой обработки сигналов САФОС, платы сбора данных ПСД, персонального компьютера ПК и блока питания БП (рис. 1) [1].

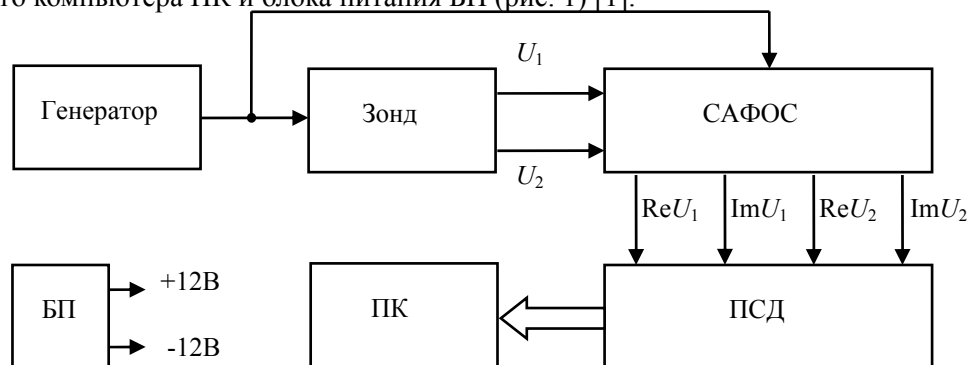


Рис. 1. Структурная схема системы контроля внутреннего диаметра трубы

Для измерения внутреннего диаметра электропроводящих труб используется накладной трансформаторный вихретоковый преобразователь (НТВТП) (рис. 2), принцип действия которого основан на измерительном преобразовании в полях вихревых токов. Измерительное преобразование в полях вихревых токов основано на возбуждении в электропроводящих объектах переменным магнитным полем вихревых токов и зависимости параметров этих токов от свойств объекта и, в частности, от расстояния (зазора) между поверхностью объекта контроля и НТВТП.

По технической сущности НТВТП системы контроля состоит из двух вихретоковых преобразователей (ВТП). Первый из них содержит обмотку возбуждения 1 и измерительную об-

мотку 3, а второй – обмотку возбуждения 2 и измерительную обмотку 4, обмотка 5 – компенсационная обмотка.

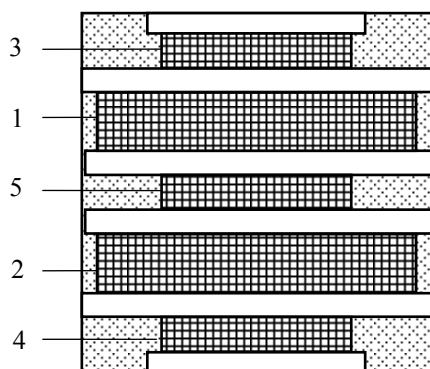


Рис .2. Конструкция накладного трансформаторного вихрекового преобразователя

Суть измерения диаметра заключается в том, что первый ВТП измеряет зазор h_1 между поверхностью трубы и одним торцом преобразователя, а второй ВТП измеряет зазор h_2 между поверхностью трубы и другим торцом преобразователя. В конце суммируются оба зазора и длина НТВТП h_0 для определения внутреннего диаметра трубы. Принцип измерения НТВТП показан на рис. 3.

При математическом моделировании использован НТВТП длиной 18 мм и труба с внутренним диаметром 21 мм. Известно, что комплексное вносимое напряжение двухобмоточного ВТП определяется выражением [2]:

$$\dot{U}_{ВН} = j\mu_0 W_B W_I \omega \dot{I} R \pi \int_0^\infty \varphi_{ОК} \cdot \exp(-xh^*) \cdot J_1(x \frac{R_B}{R_I}) \cdot J_1(x \frac{R_I}{R_B}) dx, \quad (1)$$

где $j = \sqrt{-1}$ - мнимая единица; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м– магнитная постоянная; w_I, w_B - количество витков возбуждающей и измерительной обмоток; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота; f – частота возбуждающей обмотки; $R = \sqrt{R_B R_I}$ – эквивалентный радиус двух обмоток ВТП; R_B, R_I –

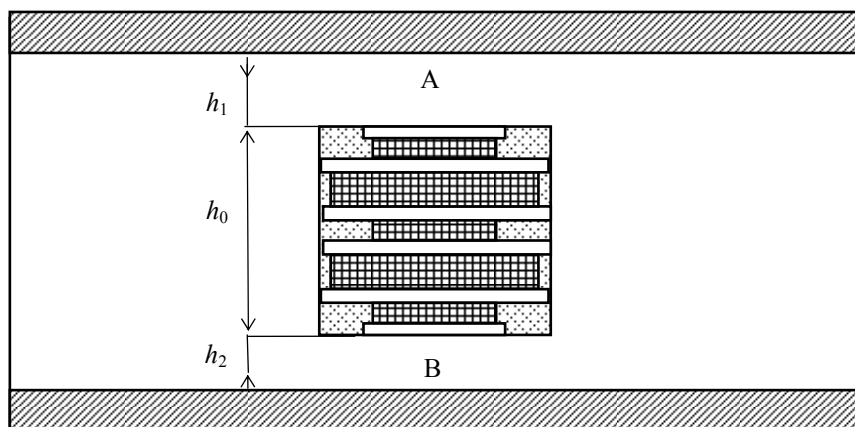


Рис .3. Принцип измерения внутреннего диаметра трубы накладным трансформаторным вихрековым преобразователем

средние радиусы возбуждающей и измерительной обмоток; $h^* = (h_B + h_I)/R$ – обобщенный параметр, характеризующее расстояние между центрами обмоток ВТП и поверхностью объекта контроля; h_I, h_B – расстояния от центра соответствующих обмоток ВТП до внешней поверхности объекта контроля; J_1 - функция Бесселя первого рода первого порядка.

С использованием преобразованного выражения (1), при высокой частоте $f=150$ кГц, $\Phi_{ок}=1$, теоретически рассчитали относительное выходное напряжение НТВТП от изменения зазора между НТВТП и внутренней поверхностью трубы выражениями [1]:

$$\begin{aligned} U_{ВН1} &= U_{ВН31А} + U_{ВН31В} + U_{ВН32А} + U_{ВН32В} - U_{ВН51А} - U_{ВН51В} - U_{ВН52А} - U_{ВН52В}, \\ U_{ВН2} &= U_{ВН41А} + U_{ВН41В} + U_{ВН42А} + U_{ВН42В} - U_{ВН51А} - U_{ВН51В} - U_{ВН52А} - U_{ВН52В}. \end{aligned} \quad (2)$$

По результатам расчета относительного выходного напряжения НТВТП от изменения зазора можно определить внутренние диаметры трубы с помощью выражения:

$$D=h_0+K\cdot(\ln A_1+\ln A_2), \quad (3)$$

где K -коэффициент усиления, зависимого от свойства трубы. A_1, A_2 -соответствующие амплитуды относительного выходного напряжения НТВТП $U_{вн1}, U_{вн2}$.

Результаты расчёта относительного выходного напряжения НТВТП от изменения зазора показаны на рисунках рис. 4а, рис. 4б. На графиках видно, что расчетное относительное выходное напряжение НТВТП от изменения зазора на первую измерительную обмотку зеркально на вторую. Это объясняется тем, что обмотки в ВТП расположены симметрично.

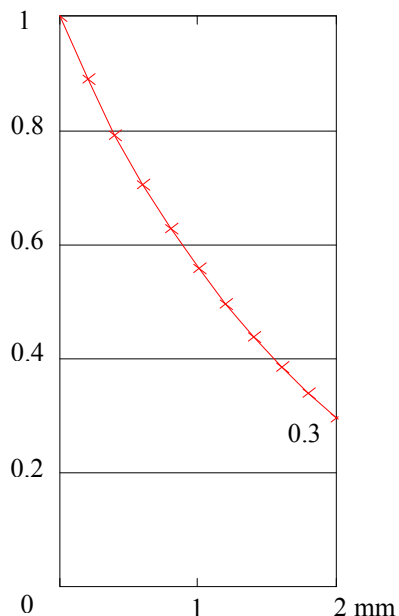


Рис. 4а. Относительное выходное напряжение на первой измерительной обмотке от изменения зазора h_1

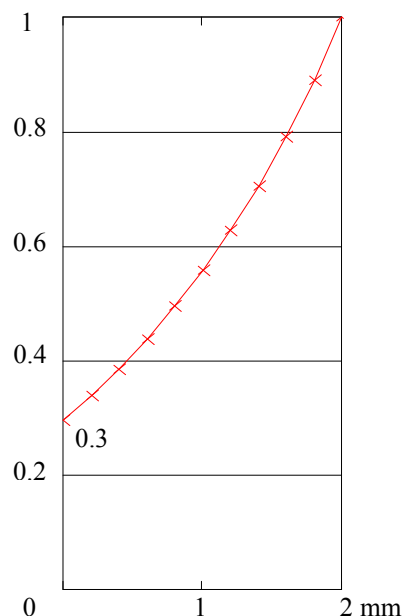


Рис. 4б. Относительное выходное напряжение на второй измерительной обмотке от изменения зазора h_2

При использовании результата расчётов относительного выходного напряжения НТВТП от изменения зазора, получили внутренний диаметр труб (рис.5). Из рис.5 видно, что при изменении зазора до $h_{max}=2$ мм, максимальный расчетный внутренний диаметр равен 20,077 мм, а минимальный – равен 19,99 мм. Отсюда получили абсолютную погрешность измерения диаметра 0,087 мм и относительную погрешность 0,435%. С такими расчетными результатами можно сказать, что использованные выражения (1), (2) и (3) позволяют с высокой точностью рассчитывать внутренние диаметры трубы.

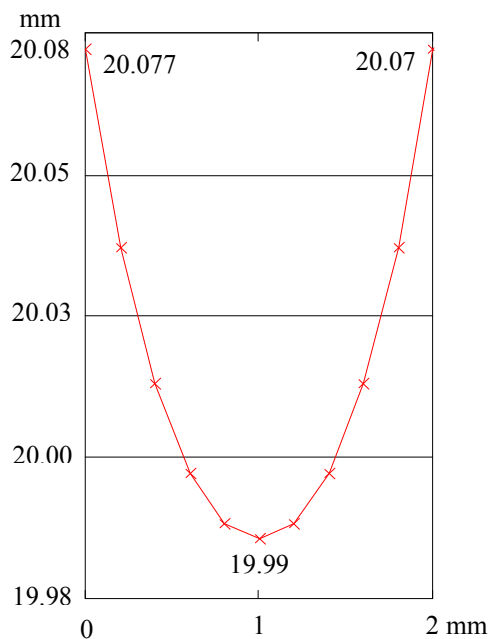


Рис.5. Расчетный внутренний диаметр трубы от изменения зазора h



Рис.6. Экспериментальным путем измерения внутреннего диаметра трубы 21 мм

В эксперименте проводили измерение на трубе из нержавеющей стали внутренним диаметром 21 мм. Результаты эксперимента получены при использовании СКВД и график внутреннего диаметра трубы построены с помощью MSExcel (рис.6).

Из рис. 6 видно, что максимальное отклонение от действительного значения составляет 0,22 мм, т.е. максимальная абсолютная погрешность, а минимальная абсолютная погрешность составляет 0,07 мм. При этом максимальная относительная погрешность составляет 1,05%, а минимальная – 0,3%. С такими результатами в целом можно сказать, что СКВД работает с высокой точностью и может применяться на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштейн А. Е. , Булгаков В. Ф. Контроль внутреннего диаметра труб вихретоковым методом // Дефектоскопия. - 2013 - №. 11. - С. 51-58.
2. Неразрушающий контроль. Справочник / под ред. В.В. Клюева: в 7 томах. Т 2: в 2-х кн.: Кн. 1: Контроль герметичности. Кн. 2: Вихретоковый контроль. – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с.

Сведение об авторах:

Чжун Ян: магистр 1-ого года обучения (гр. 1БМ32) Института неразрушающего контроля Томского политехнического университета, сфера научных интересов – неразрушающий контроль методами вихревого тока.