

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
МЕТОДА РАЗДЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ  
ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ВКЛЮЧЕНИИ ТОКОВИХРЕВОГО  
ДАТЧИКА**

Д. В. МИЛЯЕВ, А. М. НЕСТЕРОВ

(Представлена научно-техническим семинаром кафедры информационно-измерительной техники)

Одним из основных направлений в развитии индукционной дефектоскопии (метода вихревых токов) является отдельный контроль параметров изделия, так как в одних случаях параметры изделия являются полезными, в других эти же параметры могут быть мешающими. В настоящее время разработаны различные способы уменьшения влияния мешающих факторов при использовании как параметрического, так и трансформаторного включения токовихревого датчика при контроле по амплитуде выходного напряжения измерительной схемы, в которую включен датчик. Наибольшее распространение получили фазовый, амплитудно-фазовый и двухчастотный способы.

Ряд приборов для контроля методом вихревых токов основан на измерении изменения основной частоты колебательного контура генератора, индуктивность которого определяется полностью или частично индуктивностью испытательной катушки. До настоящего времени считалось, что такими приборами невозможно вести отдельный контроль параметров изделия, так как изменение индуктивности вызывает не только контролируемый параметр, но и мешающий фактор. При контроле, основанном на измерении величины реактивного сопротивления, считается, что добротность катушки  $Q$  много больше единицы и частота генератора определяется по формуле

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

где  $L$  — индуктивность катушки;  
 $C$  — емкость контура.

При экспериментальном исследовании метода было замечено, что чувствительность к контролируемому параметру изделия различна при изменении фазовой расстройки  $\varphi_k$  колебательного контура. Частота колебаний контура, в который внесен фазовый сдвиг, равна

$$\omega_k = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} - \frac{R}{2L} \operatorname{tg} \varphi_k,$$

где  $R$  — активное сопротивление катушки датчика.

Из этой формулы видно, что начальный фазовый сдвиг в контуре определяет знак и величину изменения частоты при изменении параметров изделия. При нулевой фазовой расстройке частота практически зависит только от индуктивности катушки. С увеличением фазовой расстройки влияние активного сопротивления на частоту увеличивается. В пределах  $\pm 90^\circ$  изменения фазового сдвига можно найти такой угол, при котором влияние одного из параметров изделия на частоту будет практически равно нулю, а влияние другого — останется неизменным. Данный способ был назван частотно-фазовым методом отстройки от мешающих факторов.

Одним из достоинств частотно-фазового метода отстройки от мешающих факторов является возможность вести контроль при любом значении обобщенного параметра.

Цель экспериментальных исследований заключалась в выборе начальных фазовых сдвигов в контуре генератора, соответствующих оптимальным условиям раздельного контроля диаметра и электропроводности немагнитных изделий. Блок-схема установки изображена на рис. 1. Изменения частоты измерительного генератора с фазовым сдвигом Г.Ф.С. контролировались с помощью конденсаторного частотомера Ч.

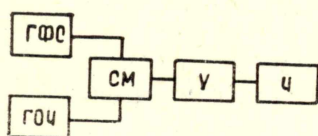


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

генератор опорной частоты Г.О.Ч. Сигнал разностной частоты выделялся смесителем См и подавался через усилитель У на частотомер. Рабочая частота возбуждения вихревых токов при испытании равнялась 10 кгц.

Датчик включался в колебательный контур автогенератора с фазовым сдвигом. Расстройка колебательного контура производилась с помощью мостикового фазовращателя, включенного в обратную связь генератора. Установившееся значение частоты автогенератора определяется балансом фаз, т. е. сумма всех фазовых сдвигов должна быть равна нулю. Таким образом, если изменить фазу обратной связи на угол  $\varphi_{oc}$ , то контур должен расстроиться на угол  $\varphi_k = -\varphi_{oc}$  и частота колебаний автогенератора будет равна

$$\omega_r = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} + \frac{R}{2L} \operatorname{tg} \varphi_{oc}.$$

При достаточном усилении фазовый сдвиг в контуре можно изменять с помощью фазосдвигающей цепи в пределах  $\pm 90^\circ$ .

В качестве образцов использовались прутки из меди, латуни и бронзы с номинальным диаметром 10 мм. Величина фазового сдвига в контуре регулировалась в пределах  $\pm 80^\circ$ . Результаты эксперимента приведены на рис. 2. При фазовом угле, близком к  $60^\circ$ , приращение частоты вызвано главным образом изменением диаметра и наоборот, при фазовом угле  $-60^\circ$  приращение частоты в большей степени объяснено изменению электропроводности.

Для определения начальных углов сдвига, соответствующих раздельному и независимому контролю либо диаметра, либо электропроводности, на рис. 3 приведены графики изменения частоты автогенератора при относительных изменениях диаметра или электропроводности в зависимости от изменения фазового сдвига. При значительном расхождении значений диаметра и электропроводности значение фазового

угла, при котором чувствительность к мешающему фактору равна нулю, изменяется незначительно в пределах нескольких градусов. Это дает возможность производить отстройку от мешающих факторов при широком диапазоне их изменения. Так, в проведенных экспериментах значения электропроводности отличались друг от друга почти на порядок.

Для нахождения реальных чувствительностей контролируемого параметра и мешающего в зоне их раздельного контроля при экспериментальных исследованиях использовались образцы с малым разбро-

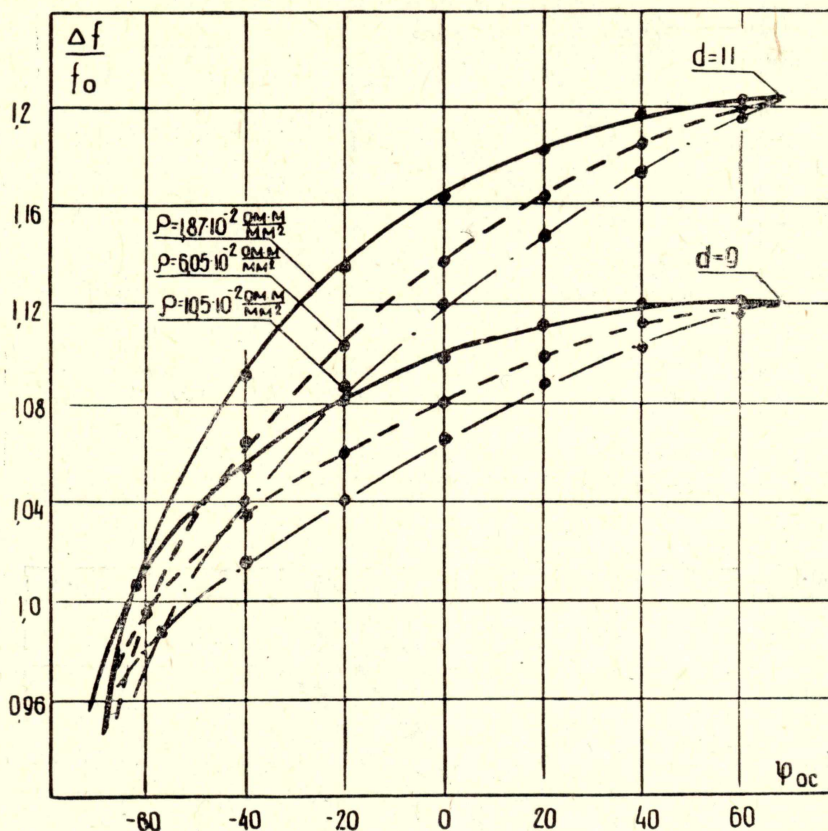


Рис. 2. Зависимость приращения частоты от величины фазовой расстройки контура при различных значениях диаметра и электропроводности

сом электропроводности. Последнее обычно имеет место в практике дефектоскопии, когда необходимо выявлять малые изменения электропроводности или диаметра.

Образцы с малым изменением электропроводности были получены путем нагревания прутков из латуни до температуры примерно  $900^\circ\text{C}$  и быстрым затем охлаждением. В различных условиях охлаждения можно было получить образцы с различными электропроводностями. Закаленные и незакаленные образцы отличались по электропроводности примерно на 5%. Данные эксперимента приведены на рис. 4.

Для качественной и количественной оценки частотно-фазового способа отстройки от мешающего фактора можно проследить изменение чувствительности к полезному и мешающему факторам при фазовых углах, близких к зонам раздельного контроля, и при фазовом угле, равном нулю, т. е. без использования способа отстройки. Как показано на графиках рис. 3, чувствительности к диаметру и электропроводности при фазовом угле, равном нулю, хотя и отличаются по величине друг от друга, но

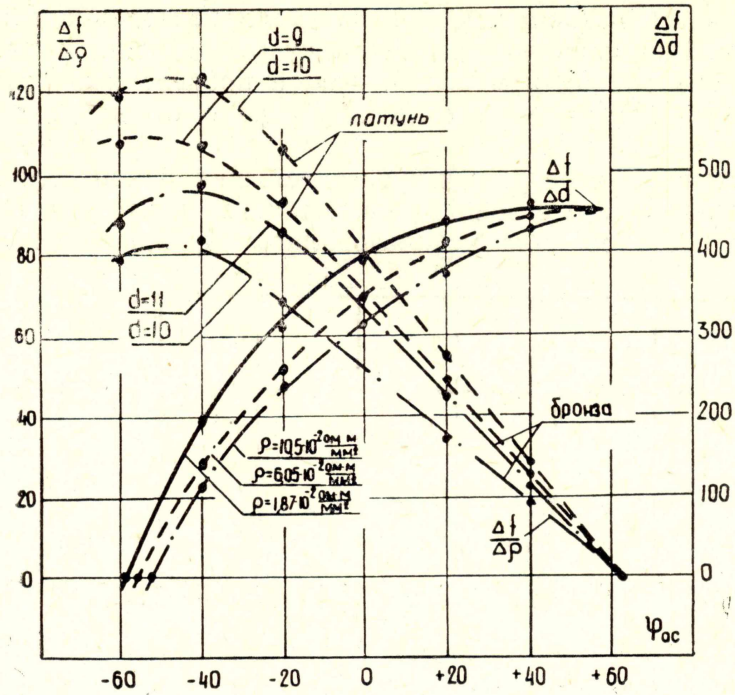


Рис. 3. Зависимость чувствительности к изменению диаметра и электропроводности от величины фазовой расстройки контура

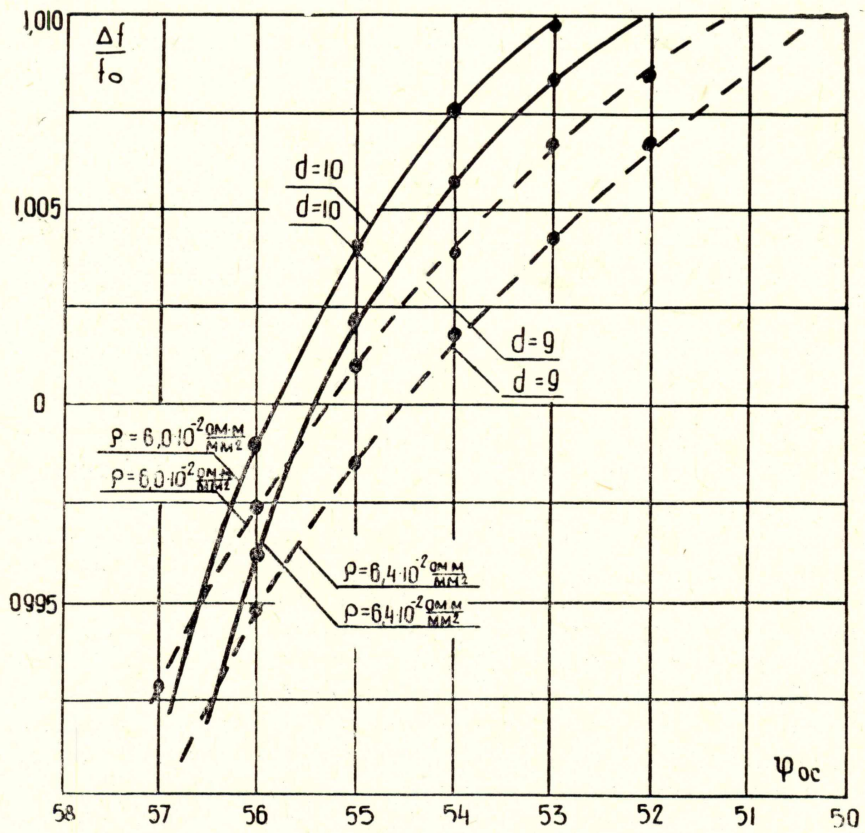


Рис. 4. Зависимость приращения частоты от величины фазовой расстройки контура при малом изменении электропроводности

также и значительно отличаются от нуля, т. е. отдельно не могут быть определены. При фазовом сдвиге  $66^\circ$  чувствительность к диаметру максимальна и составляет в среднем 40 *гц* на 1% изменения диаметра, а чувствительность к электропроводности близка к нулю. Аналогичная картина наблюдается с чувствительностью к электропроводности при фазовом угле —  $55^\circ$ . В этом случае чувствительность к электропроводности максимальна и составляет 4,5 *гц* на 1% изменения электропроводности, а чувствительность к диаметру равна нулю.

Проведенные экспериментальные исследования показывают реальную возможность отстройки от мешающих факторов и возможность вести отдельный контроль нескольких параметров. Кроме того, в отличие от всех известных способов отдельного контроля, когда с отстройкой от одного из неконтролируемых электромагнитных параметров изделия всегда происходит уменьшение чувствительности к контролирующему параметру, данный способ позволит отстроиться от мешающих факторов с сохранением высокой чувствительности к полезному параметру изделия. Как видно из данных эксперимента, эти чувствительности даже увеличиваются в  $1,5 \div 2$  раза.

---