

**ПРИБОР ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИНОРОДНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ПРЕДМЕТОВ В ТКАНЯХ ЖИВОГО ОРГАНИЗМА**

Д. К. АВДЕЕВА, В. Э. ДРЕЙЗИН, И. Г. ЛЕЩЕНКО

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

Операция удаления металлических инородных предметов из организма человека представляет для хирурга нередко большие трудности. Из возможных методов обнаружения инородных предметов в тканях живого организма (рентгеновский, электромагнитный, ультразвуковой, радиационный) практическое применение в медицине нашли первые два метода (рентгеновский и электромагнитный). Определение местоположения инородного предмета рентгеновскими лучами является самым надежным методом, но, к сожалению, не всегда оказывается достаточным. Основным недостатком рентгеновского метода является невозможность использования его в процессе хирургической операции. Это явилось основной причиной разработки нового прибора для обнаружения инородных металлических предметов в тканях живого организма, позволяющего локализовать инородные металлические предметы как до операции, так и в процессе операции.

С другой стороны, инородные тела, находящиеся в мягких тканях человеческого организма, перемещаются, вследствие чего рентгеновский метод, позволяющий предварительно локализовать инородные предметы в тканях живого организма, может привести к большой погрешности в определении его местоположения к моменту операции. С этой точки зрения электромагнитные методы обладают преимуществом перед остальными методами. Этот факт был отмечен еще в 1942 г. в статье проф. И. Г. Кочергина [1], где подчеркивается большое значение для успешного проведения операций прибора «Электромагнитный щуп», созданного в Томском политехническом институте в период Великой Отечественной войны.

Прибор «Электромагнитный щуп» имеет следующие недостатки:

1. Наличие двух ручных регулировок.
2. Низкая рабочая частота, вследствие чего мелкие неферромагнитные металлические предметы не локализовались датчиком.

Основной проблемой при проектировании нового прибора была задача создания высокочувствительного датчика, позволяющего с большой точностью обнаруживать инородные металлические предметы.

Из различных датчиков, работающих на принципе вихревых токов, в данном случае наиболее пригоден датчик с накладной катушкой, позволяющий удобно обнаруживать инородные предметы. Для получения наибольшей чувствительности датчика предварительно были проведены экспериментальные исследования по определению оптимальной конфи-

гурации сердечников катушки датчика и по выбору оптимальной рабочей частоты.

Для выбора оптимальной рабочей частоты исследовался датчик со следующими параметрами: диаметр сердечника — 1,5 мм, длина датчика — 30 мм, число витков — 40, индуктивность — 5 мкГн.

Эксперимент проводился при расстоянии от торца датчика до обнаруживаемого тела, равном нулю, так как при этом достигается наибольшая чувствительность датчика.

Выбор диаметра сердечника основан на получении наименьшей погрешности при обнаружении местоположения инородного предмета, так как эта погрешность по крайней мере не меньше диаметра катушки датчика.

В качестве инородного тела исследовалась стальная игла длиной 15 мм с максимальным диаметром 1 мм и капля оловянно-свинцового припоя овальной формы с диаметром в поперечнике 6 мм. Исследования датчика на оптимальную частоту проводились на куметре КВ-1. Результаты эксперимента представлены графически на рис. 1, а, б. На основании экспериментальных данных выбрана оптимальная частота 9 МГц.

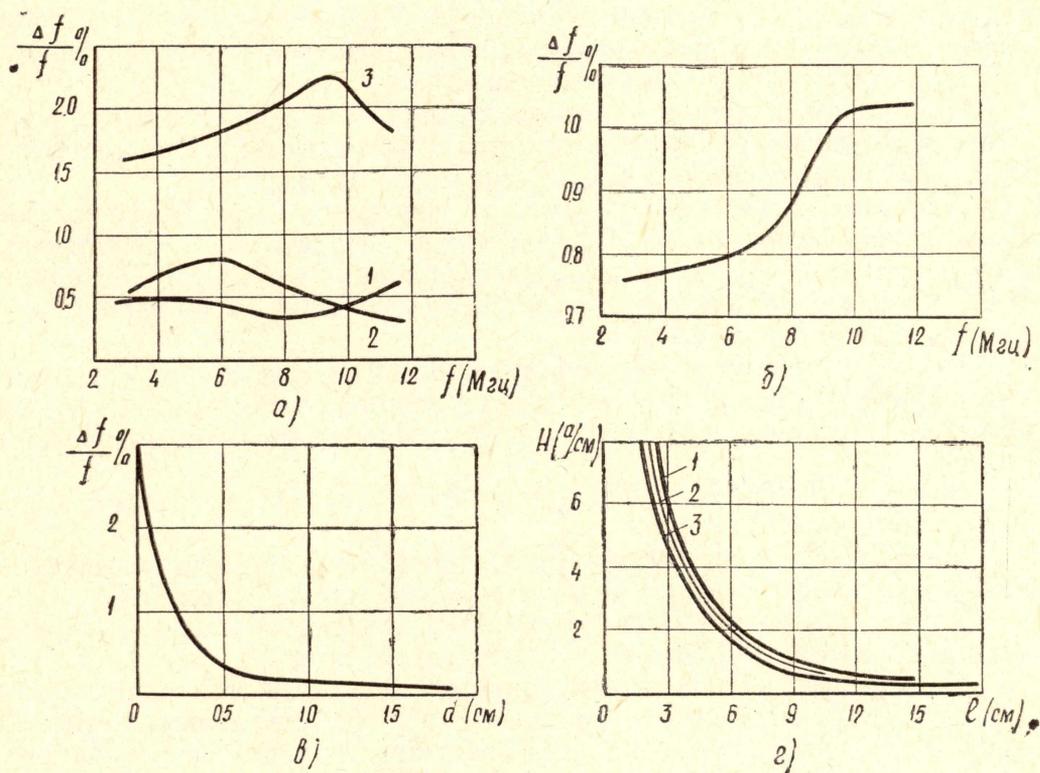


Рис. 1. а — зависимость чувствительности датчика к стальной игле от частоты питающего напряжения при трех ее различных положениях относительно датчика при расстоянии между ними, равном нулю: 1 — острием к датчику, 2 — ушком к датчику, 3 — поперек датчика; б — зависимость чувствительности датчика к капле оловянно-свинцового припоя овальной формы в зависимости от частоты питающего напряжения; в — зависимость чувствительности датчика при удалении инородного тела от торца датчика; г — зависимость изменения величины напряженности магнитного поля при удалении от центра сердечника по его оси при различных конфигурациях торца сердечника: 1 — вогнутой сферической, 2 — плоской, 3 — выпуклой сферической

Дальнейшие эксперименты проводились с целью определения изменения чувствительности датчика при удалении инородного предмета от торца датчика.

Графическое изображение результатов опыта представлено на рис. 1, в.

При приближении датчика к инородному предмету чувствительность растет по гиперболическому закону, резкое увеличение чувствительности наблюдается при расстояниях, меньших 0,5 см.

Выбор оптимальной конфигурации сердечника был проведен на модели путем экспериментального исследования электромагнитного поля катушки с размерами $l = 110$ мм, $d = 25$ мм и сердечниками с различной конфигурацией наконечника: плоской, сферической и вогнутой сферически.

На рис. 1, г приведены зависимости, изображающие изменение величины напряженности магнитного поля при удалении от центра сердечника по его оси при различных конфигурациях торца сердечника.

Таким образом, экспериментально было доказано, что наибольшая напряженность в одних и тех же точках поля достигается при вогнутой сферической поверхности торца сердечника.

Конструкция датчика изображена на рис. 2.

Датчик конструктивно оформлен в виде трубки 2 с общей длиной 150 мм, заканчивающейся металлической ручкой, на поверхность которой выведена коммутационная кнопка 4. Трубка изготовлена из пластмассы с внутренним цилиндрическим отверстием. Внешняя поверхность трубки имеет незначительную конусность.

Накладная катушка 1 расположена над пластмассовой трубкой, концы выводов катушки припаиваются к выводам из блока генератора. После пайки выводы катушки заливается стиракрилом.

Для того, чтобы кончик датчика получился тонким в виде иглы, катушка наматывается не по всей длине сердечника. Свободный от витков конец сердечника покрывается тонким слоем стиракрила. Пластмассовая трубка перед работой подвергается стерилизации (либо в спирте, либо в формалине).

Ручка изготавливается из анодированного дюралюминия и состоит из цилиндрической полой трубки 6 и двух колпачков (3, 7), которые навинчиваются на трубку, для чего на трубке и на колпачках предусмотрена резьба.

Верхний колпачок имеет отверстие, в которое вставляется пластмассовая трубка.

Металлическая ручка экранирует генератор от внешних электрических полей и имеет общую точку с клеммой «земля» прибора.

Датчик выполняется со встроенным генератором для уменьшения влияния помех на стабильность частоты генератора.

Монтаж генератора осуществляется между двумя текстолитовыми дисками, закрепленными с помощью трех текстолитовых столбиков. После настройки генератора весь монтаж заливается стиракрилом. Внешне блок генератора представляет цилиндрическую трубку, из которой выступает коммутационная кнопка и выводы.

Экспериментально датчик был проверен в детской клинике при Томском медицинском институте при операциях по извлечению дроби из коленного сустава и удалению осколка иглы из пятки.

Использование датчика для обнаружения инородных металлических предметов в процессе операции дало положительные результаты. С помощью датчика обнаруживались тела, залегающие на глубине, не превышающей 20 мм.

Накладная катушка подключается к контуру генератора и определяет контурную индуктивность. Основная частота генератора является функцией индуктивности колебательного контура и в первом приближении мало зависит от сопротивления его R .

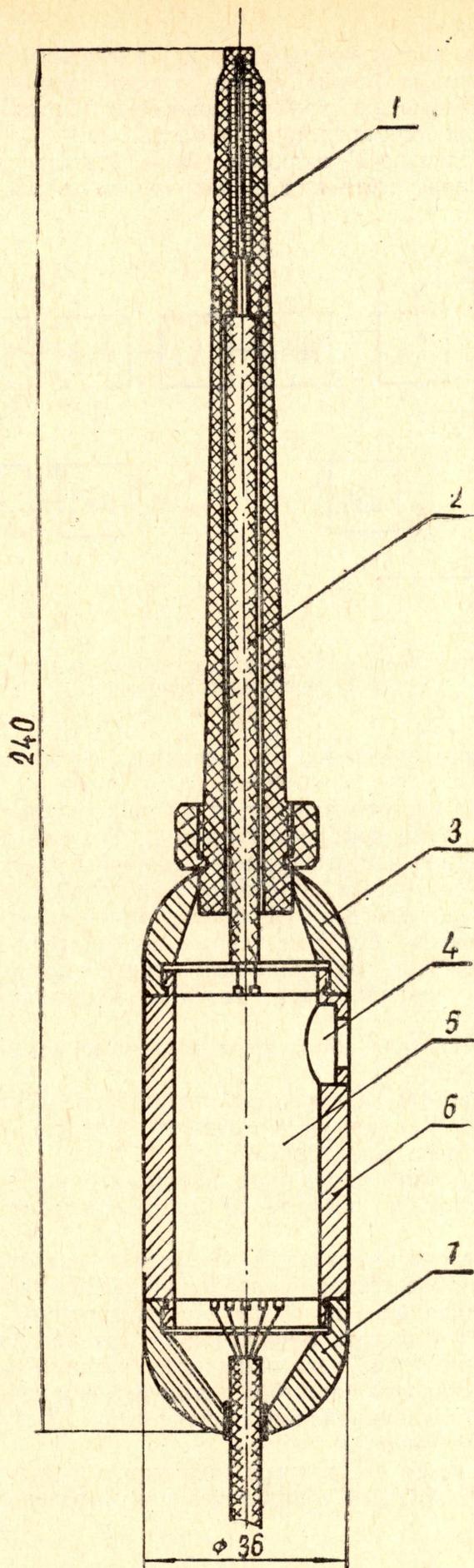


Рис. 2. Конструкция датчика для обнаружения инородных металлических предметов в тканях живого организма

По изменению частоты генератора при внесении в поле датчика металлического предмета можно судить о местонахождении инородного металлического предмета в тканях человеческого организма.

Блок-схема прибора представлена на рис. 3.

В контур генератора Γ_1 включен датчик. На основании эксперимента получено, что при расстоянии до инородного предмета, равном нулю,

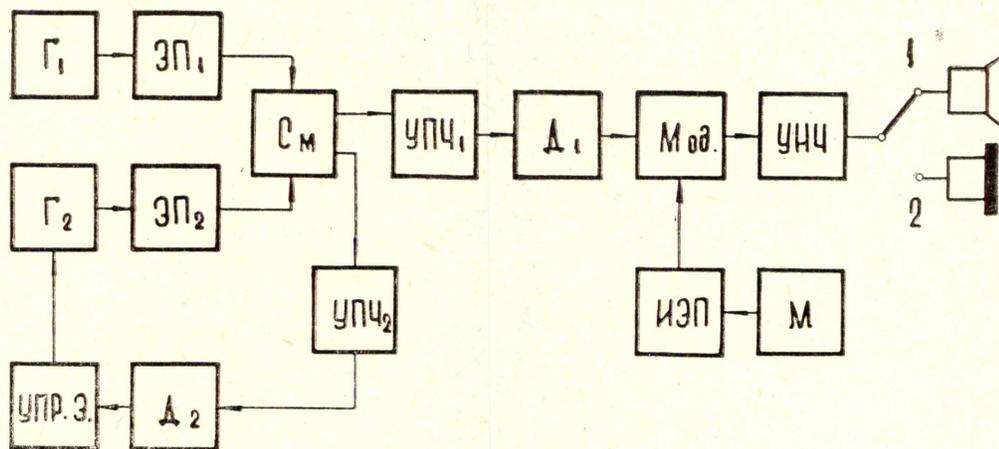


Рис. 3. Блок-схема прибора для обнаружения инородных металлических предметов в тканях живого организма

частота генератора изменяется на величину $\Delta f_{\max} = +280$ кГц либо $\Delta f_{\max} = -120$ кГц.

Знак девиации частоты зависит от материала инородного предмета (ферромагнитный либо неферромагнитный). Так как девиация частоты велика, то разностная частота выбрана равной 1 МГц.

Генератор Γ_2 генерирует колебания с частотой 8 МГц.

Колебания с частотой 8 и 9 МГц через эмиттерные повторители ЭП подаются на смеситель См. Эмиттерные повторители выполняют роль буферных каскадов, так как ослабляют связь между генераторами, вследствие чего ликвидируется явление затягивания частот генераторов.

На выходе смесителя образуются различные комбинационные частоты: nf_1 , nf_2 , $nf_1 \pm nf_2$.

Разностная частота со смесителя подается на усилитель промежуточной частоты УПЧ₁, контур последнего каскада которого связан с контуром частотного детектора Д₁.

В случае отсутствия инородного предмета в поле датчика частота генератора Γ_1 постоянна, поэтому со смесителя идет промежуточная частота 1 МГц.

Контур частотного детектора Д₁ настроен на частоту 1 МГц, поэтому на выходе частотного детектора напряжение равно нулю.

В момент попадания в поле датчика инородного металлического предмета изменяется частота генератора Γ_1 , так как изменяются параметры датчика, вследствие чего изменяется и промежуточная частота.

На выходе частотного детектора в этот момент появляется постоянное напряжение, пропорциональное изменению Δf и имеющее такой же знак, как и отклонение Δf .

Постоянный сигнал с детектора модулируется с частотой 1000 гц модулятором Мод, который управляется прямоугольным напряжением ($f = 1000$ гц).

Формирование напряжения прямоугольной формы осуществляется мультивибратором M , частота следования импульсов которого равна 1 000 гц.

Импульсный эмиттерный повторитель $ИЭП$ ликвидирует влияние нагрузки на работу мультивибратора.

Модулированный сигнал усиливается усилителем низкой частоты и подается на динамик либо на телефон. Зона нечувствительности датчика определяется нестабильностью промежуточной частоты $f_1—f_2$, которая в свою очередь определяется нестабильностью частот f_1, f_2 .

Для уменьшения нестабильности промежуточной частоты в приборе используется система автоматической подстройки частоты ($АПЧ$), в которую входят следующие блоки: усилитель промежуточной частоты $УПЧ_2$, частотный детектор D_2 и управляющий элемент ($УПР.Э$).

В результате действия $АПЧ$ стабильность промежуточной частоты увеличена на порядок и доведена до 10^{-4} .

Таким образом, разработанный прибор позволяет быстро и удобно локализовать инородные металлические предметы в тканях живого организма как до операции, так и в процессе операции.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Военно-полевая хирургия». Медгиз, 1942, стр. 113—117.
-