

# Электронные средства досмотра

# История появления

- Первое упоминание о **металлоискателях** - металлодетекторах встречается в древних китайских документах II в. до н.э., где описывается вход в покои императора, сделанный из природного магнетита в виде арки, имеющей форму подковообразного магнита. Такой магнит обладает достаточно высокой магнитной силой и притягивает к себе любые железные предметы, в том числе и оружие, вносимое в комнату императора.

# История появления

- В конце XIX в. в разных странах проводились исследования модного тогда явления магнитной индукции, продемонстрированного Джозефом Генри и независимо от него Майклом Фарадеем в 1831 году. Вскоре Генри провёл успешные эксперименты с индукцией и самоиндукцией, которые стали основой для телеграфа, телефона и радио. Он расширил свои эксперименты с индукцией используя плоские спирали изолированного провода - первые катушки.
- Исследователи изучали влияние металлических предметов на индуктивность, а также принцип уравнивания индуктивных эффектов одной части цепи равными и противоположными эффектами другой части. Ранняя форма индукционного баланса для этих целей очевидно была изобретена в Германии немецким физиком профессором Генрихом Вильгельмом Дове около 1841 года. Примерно в то же время похожая аппаратура была независимо изобретена в Америке профессором Генри Ровландом.
- В США этим активно занимался физик из Шотландии профессор Александр Грейам Белл, изобретатель телефона.

# История появления

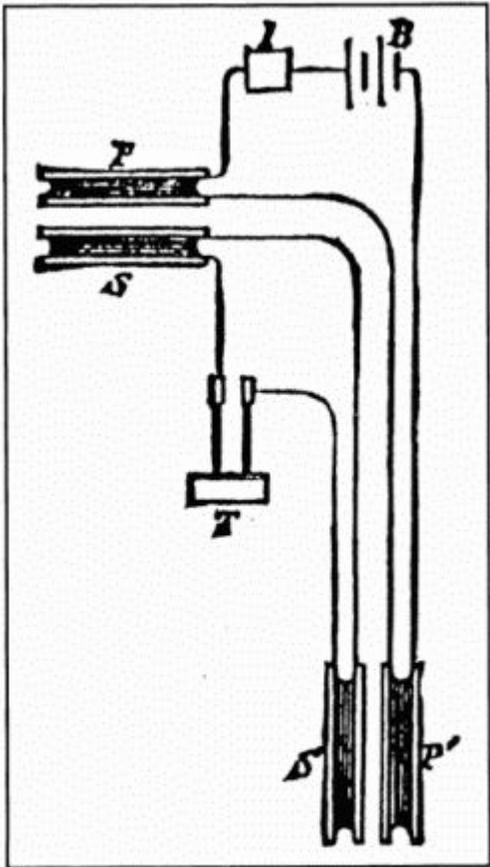
- В 1876, Александр Белл направил своё внимание на балансировку индуктивностей из-за проблемы шумов в телефоне, вызванных телеграфной аппаратурой на линиях, пролегающих рядом с телефонными проводами. Помеха была устранена путём использования двух проводников вместо одного, так как токи, индуцированные в одном проводнике были точно равны и имели противоположное направление токам, индуцированным в другом проводнике; таким образом образовался индуктивный баланс, и схема имела на выходе нулевой сигнал.

# История появления

- Этот метод был запатентован в Англии в 1877 году Александром Беллом, и в течении зимы 1877-78 годов в Лондоне Белл занимался экспериментами, связанными с этим методом. Он нашёл, что когда схема сбалансирована, то кусок металла, помещённый в поле индуктивности, вызывает звук в телефоне (приёмнике). Когда серебряная монета размером в пол кроны или флорин перемещалась перед катушками, размещёнными параллельно, то тишина в телефоне прерывалась три раза

# История появления

- Английский профессор музыки Даниэль Хьюс, экспериментировавший с индуктивным балансом в 1878 году и продемонстрировавший в июле 1879 более многообещающее устройство для индуктивного баланса, использовавшее четыре катушки, в котором с помощью новейшего запатентованного электрического микрофона и тиканья часов создавалось электрическое возмущение в схеме, содержащей две основные катушки и две вторичные катушки, соединённые с телефонными наушниками. Когда кусок металла помещался поблизости от одной пары катушек, то баланс нарушался, и тиканье часов становилось слышно в наушниках.



*Induction Balance circa 1879.*

# История появления

- В Америке, в августе 1879 года, Белл опубликовал статью "О новых методах исследования поля индукции плоских катушек" по просьбе Гарднера Хаббарда, который разглядел здесь возможный способ обнаружения залежей ценных металлов в земле
- 2 июля 1881 года на железнодорожном вокзале в Вашингтоне был серьезно ранен двадцатый президент Соединенных Штатов Джеймс



# История появления

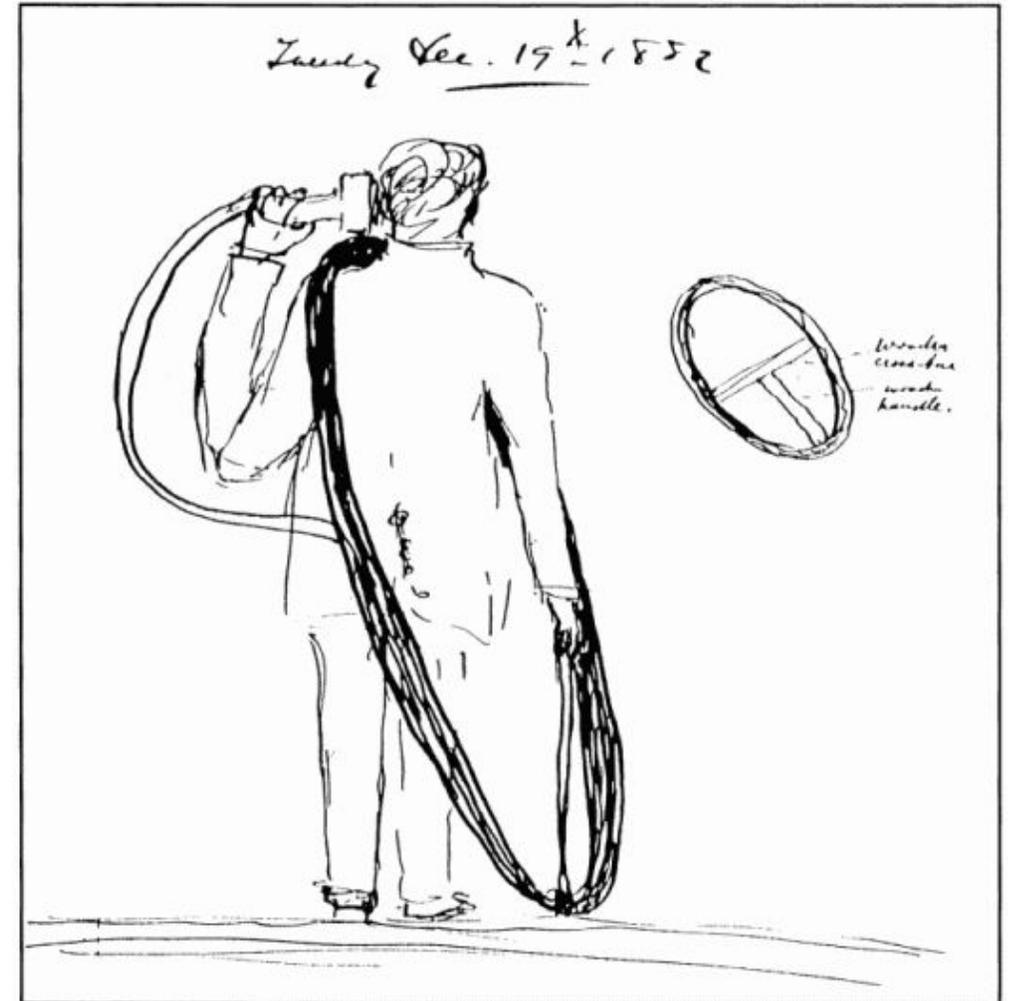
- 11 июля 1881 года Джордж Хопкинс из журнала "Scientific American" опубликовал свои результаты использования улучшенных методов индуктивного баланса Хьюса в газете "New York Tribune". Белл, с помощью Саммера Тейнтера, связался с Хопкинсом, и, совместно с Хьюзом, Ровландом и Джоном Тровбриджем из Гарварда, организовал сообщество, способствующее созданию прибора для обнаружения пули. Они экспериментировали с балансными устройствами разного размера, разной длиной и диаметром катушек, разными батареями, и в конце концов добавили конденсатор к схеме, так что теперь аналогичная свинцовая пуля обнаруживалась на расстоянии двух дюймов в сжатом кулаке

# История появления

- 24 октября 1881 Белл в Париже успешно продемонстрировал способ индукционного баланса и опубликовал статью "Успешное применение индукционного баланса для безболезненного обнаружения металлических объектов в человеческом теле". Его аппаратура могла обнаружить пулю на расстоянии 2,5 дюймов, 5 дюймов - когда пуля находится на оси катушки, и 1 дюйм - на краю. В заключении он пояснил, что глубина, на которой объект лежит ниже поверхности земли, не может быть определена, если неизвестна форма объекта и угол его проекции.

# История появления

- В декабре 1882 года Белл произвёл эксперимент с катушкой для обнаружения металлических жил в земле, также целью эксперимента являлось обнаружение подземных телеграфных проводов



*Bell's sketch of his coil for metallic veins and underground telegraph wires, December 19th, 1882.*

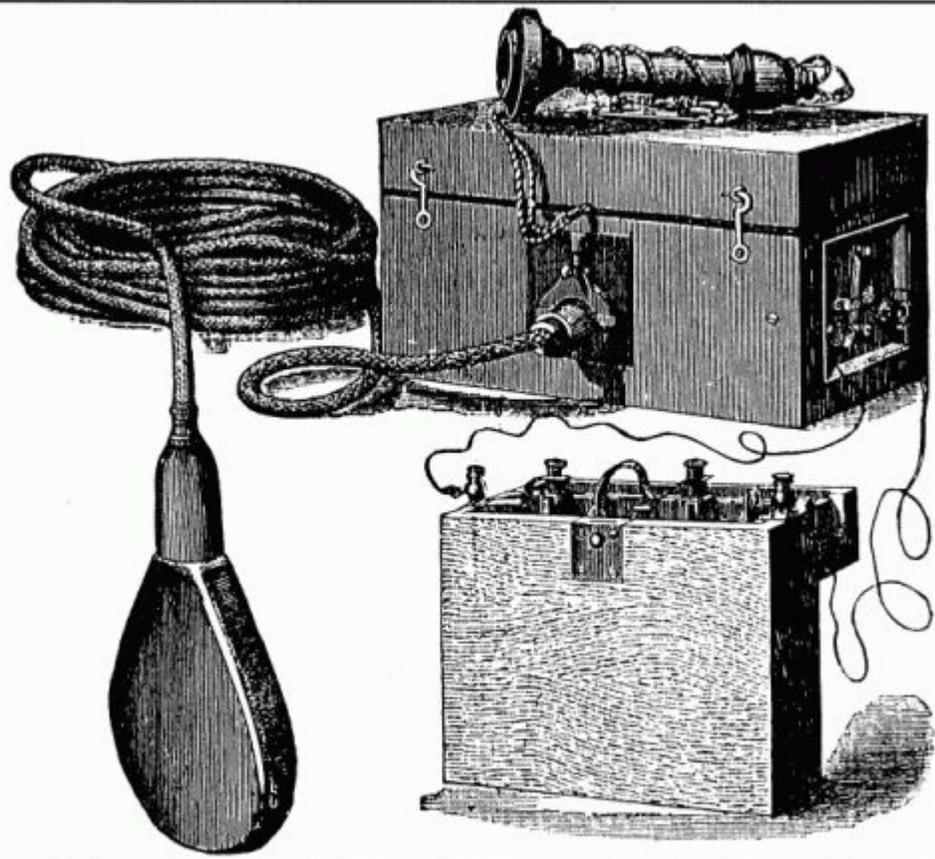
# История появления

- В феврале 1887, доктор Джон Джиндер из Нью Йорка опубликовал результаты своих экспериментов по обнаружению металлических предметов в человеческом теле. Его аппаратура состояла из двуххромовой батареи из шести элементов, обычного прерывателя с частотой прерывания около 600 Гц. Поисковые катушки были установлены в деревянный корпус, который он назвал "Эксплорер", другие катушки были названы "настроечными". Это устройство могло обнаруживать пулю на глубине 6 дюймов в человеческом теле, в земле дальность была меньше

# История появления

- В конце века, капитан Мак Эвой, экспериментируя с аппаратурой Хьюса, уменьшил металлодетектор до размеров, позволяющих его использовать под водой. Портативный, герметичный корпус содержал настроечные катушки, прерыватель, батарею из двух элементов, которая могла быть заменена небольшим магнитоэлектрическим генератором, производящим переменный ток, и наушниками. Изолированный кабель соединял пары катушек. Резиновые шайбы, винты из слоновой кости и эбонитовые ручки использовались что бы снизить взаимодействие с металлическими частями.

# История появления

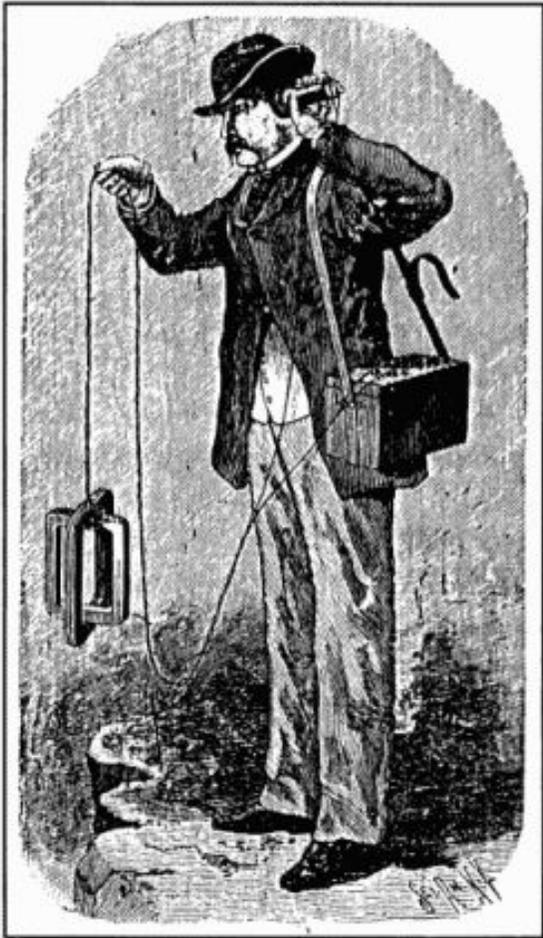


*Captain McEvoy's underwater metal detector, circa 1905.*

- Когда катушка была погружена в воду, то если её перемещали у дна и в её поле появлялся кусок металла - корпус торпеды, цепь, подводный кабель, то баланс нарушался и звук в телефоне, до этого очень слабый, становился очень громким и ясным. Единственным недостатком было то, что металлический предмет, лежащий точно под катушкой, не воздействовал на неё

# История появления

- Джордж Хопкинс, продолжавший изучать металлодетекцию, изобрёл устройство для поиска металлических руд, не использовавшее индукционный баланс. Его катушки были установлены перпендикулярно. Обычная 6 или 8 дюймовая катушка могла обнаруживать минералы, лежащие у поверхности на глубине несколько дюймов



*George Hopkins' electrical ore finder, circa 1904.*

# История появления

- В течении Первой Мировой войны некоторое внимание было привлечено к детекторам бомб, но никаких документов, о практическом применении этих детекторов найдено не было.
- В 1915 году М.С. Гуттон из Франции экспериментировал с подобным прибором, но ему не удалось его полностью сбалансировать. Его аппаратура состояла из двух трансформаторов в виде пяти катушек, соединённых с мостом Максвелла. После экспериментов с аппаратурой Гуттона и мостом Андерсона в 1922 году Бюро стандартов США опубликовало статью "Индуктивный баланс для обнаружения металлических тел

# История появления

- В начале 1924 года, Даниель Чилсон из Лос-Анджелеса изобрёл и запатентовал электромагнитный детектор, известный как "радио" детектор. Его аппаратура использовала новую схему на биениях, которая стала известна как "Мост Чилсона". Про первые успешные поиски закопанных сокровищ с помощью "фиолетового луча" или "радио" устройства, которое показывало присутствие клада было сообщено Джеймсом Янгом в газете Нью Йорк Таймс в 1927 году.

# История появления

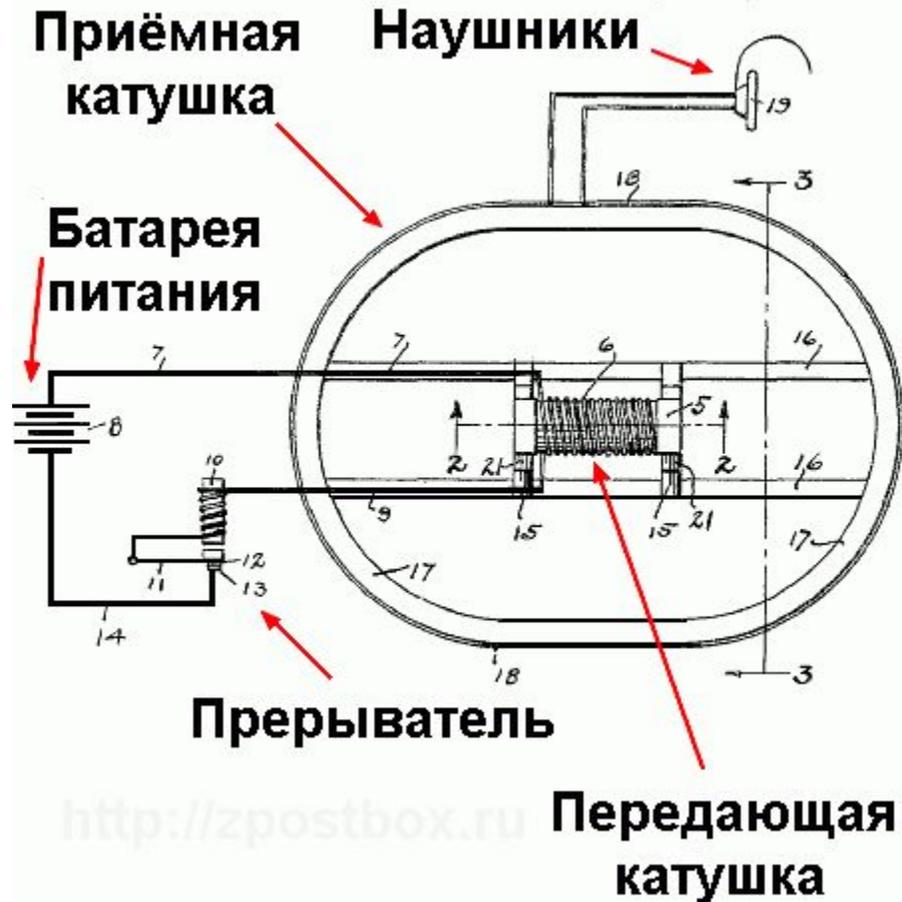


Схема металлоискателя из патента США US1679339 от 1924 года.

Передающая катушка 6, намотанная на каркасе с металлическим сердечником 5, подключена к батарее 8 последовательно с прерывателем (10...13), так что катушка 6 периодически коммутируется к батарее с частотой несколько сот Герц, создавая вокруг переменное электрическое поле. Ось передающей катушки 6 точно совпадает с плоскостью приёмной катушки 18, к выводам которой подключены головные телефоны 19. Расположение катушек должно быть точно отрегулировано таким образом, что бы при отсутствии поблизости металлических объектов в наушниках не было бы слышно звука и система была бы сбалансирована. Если теперь в поле катушки 6 попадёт какой-либо металлический объект, то баланс нарушится, и в катушке 18 наведётся сигнал переменного тока, который можно будет обнаружить по звуку в наушниках

# История появления

- Первой книгой по металлодетекции была книга Р.Дж. Сэнтски "Современное лозоходство: конструирование и использование электронных металлоискателей", изданная в 1927 году. Она стала столь популярной, что её переиздавали в 1928, 1931, и 1939 годах

# История появления

- В 1930 году физик Теодор Теодорсен, работающий на Национальный Консультативный Комитет по Аэронавтике, доложил о том, что в лаборатории Лэнгли был разработан "Инструмент для обнаружения металлических тел, находящихся в Земле", предназначенный для непосредственного обнаружения невзорвавшихся бомб, сброшенных с самолётов. Место сброса бомб находилось около нового канала, на котором испытывали гидропланы в Лэнгли Филд, Вирджиния, в то время он реконструировался. Новый "детектор" успешно обнаружил много бомб, закопанных в том месте или поблизости, включая 17 фунтовых бомб на глубине 2 фута

# История появления

- Детектор, известный как N.A.S.A. бомбоискатель, имел простую конструкцию и не требовал квалифицированного оператора. Конструкция была основана на работе М.С. Гуттона из Франции. Три катушки были намотаны на полем деревянном каркасе 3 фута диаметром и высотой 1-1,5 фута. Катушки были подвешены на лестницеобразном каркасе, для работы с устройством требовались два человека. Устройство питалось от 110 вольтовых батарей, размещённых в большом ящике

# История появления

- В 1935 году был сконструирован металлодетектор для поиска подземных колодцев
- Поисковое радиоустройство вскоре зарекомендовало себя как чувствительный инструмент для поиска сокровищ, и его чертежи стали доступны для любителей в популярных журналах.
- Для работы он должен был находиться на приемлемом расстоянии от цели. Он не мог различать чёрные и цветные металлы.
- Нашел применение в тюрьмах для обнаружения магнитных металлов. О наличии металла можно было судить по резкому отклонению луча электронно-лучевой трубки. Прибор обеспечивал хорошую чувствительность, но был сложен в настройке

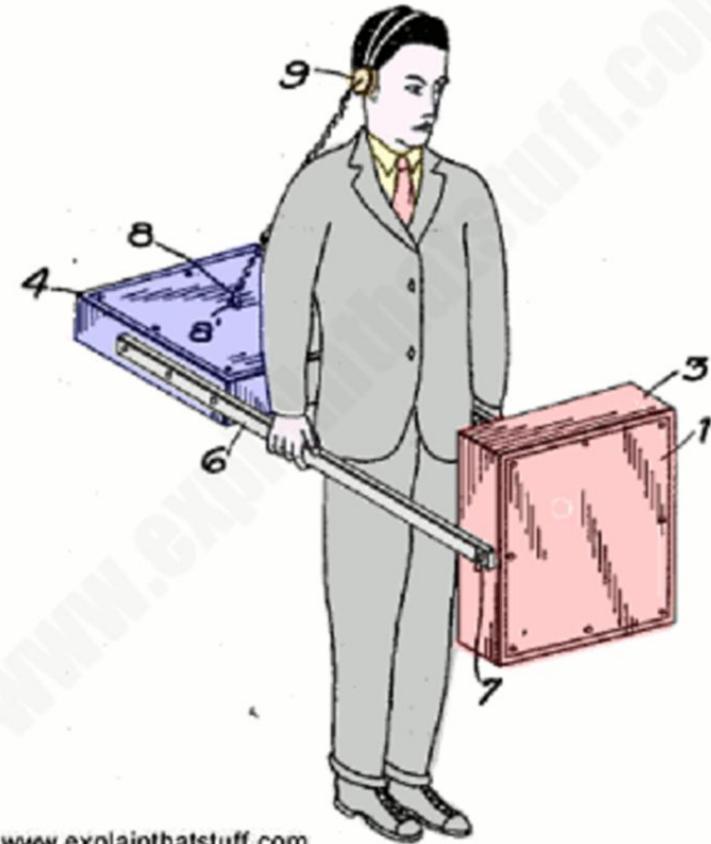
## Проблема

- Одни детекторы имели возможность компенсировать влияние тела оператора и земли, другие реагировали на полоски мокрой почвы и влажные корни растений. Но даже лучшие детекторы были бесполезны на океанских пляжах, содержащих много магнитного чёрного песка

# История появления

- В 1930 году в США немецкий иммигрант доктор Герхард Фишер, из Голливуда (Калифорния), инженер-исследователь, разработал систему радиопеленгации, которая должна была использоваться для точной авианавигации. Система работала очень хорошо, но Фишер заметил, что существует аномалия в районах с значительным содержанием железной руды. Он решил, что если радио луч может быть искажен наличием металла, то это дает возможность спроектировать металлоискатель. Он создал первый промышленный образец металлоискателя, назвал его металлоскоп и в 1937 году запатентовал свое изобретение.

G. R. FISHER  
Jan. 5, 1937 METALLOSCOPE 2,066,561



# История появления

- В 1938 году была разработана схема настраиваемого индуктивного моста для обнаружения металлических частиц в сигарах. Эта схема имела хорошую чувствительность и стабильность и могла работать при любой температуре, влажности, запылённости и вибрациях. Так же особенностью схемы была лёгкая регулировка и компактность, и эта схема была более стабильна чем приборы на биениях.

# История появления

- В 1939 Гарри Фор опубликовал схему недорогого детектора с использованием моста Чилсона на биениях, не реагирующий на внешние помехи и настраиваемый по нулевым биениям. Он использовал одиночную катушку и сигналом обнаружения являлись "кудахтающие звуки", издаваемые наушниками с сопротивлением 4 кОм. При правильной настройке прибор мог обнаружить пластину металла площадью 3 дюйма на глубине 12 дюймов, и монету а 10 центов на глубине нескольких дюймов.

# История появления

- В декабре 1939 года доктор Линкольн Ла Пас из Государственного университета Огайо представил Астрономическому Обществу доклад по детекторам метеоритов. Три прибора были сконструированы и построены с использованием исследований, проведённых Теодорсеном при разработке бомбоискателя
- Первый - большой трёхкатушечный детектор, возбуждаемый от генератора, работающего от бензинового двигателя. Прибор мог разместиться в багажнике автомобиля
- Вторая - трёхкатушечная система, возбуждаемая ламповым генератором, была достаточно невелика, её можно было носить в рюкзаке. Поисковые катушки любых размеров можно было подсоединять к прибору так же легко, как вкрутить в патрон лампочку
- Третья состояла из поисковой и излучающей катушек, и по сравнению с коммерческими приборами имела вдвое меньшее энергопотребление с питанием от батарей. При весе менее 15 фунтов этот прибор мог быть использован везде, куда только человек мог добраться

# История появления

- Вторая Мировая война потребовала немедленной разработки миноискателей.
- Требовалось разработать прибор, способный выдержать жёсткие условия эксплуатации и что бы его вес был приемлемым для солдата. Кроме того, он должен был быть несложным, требовал бы минимального количества людей для работы и был бы сделан из простых взаимозаменяемых частей для их быстрой замены.
- Такой прибор был разработан лейтенантом Польской армии Йозефом Станиславом Косаки
- В нем использовали одноламповый генератор, разработанный Вильямом Осборном в 1928 году.

# История появления



*American-made mine detectors, circa 1943.*

- Производство началось в 1941 году.
- Детектор состоял из плоского диска - поисковой катушки, и имел размеры 8x15 дюймов. Подвижная штанга крепилась к центру катушки, на рукоятке штанги находились две ручки управления. Всё остальное находилось у оператора в заплечном мешке. Первый заказ на изготовление детекторов был размещён среди различных Британских фирм, производящих радиооборудование. Эти "модернизированные" детекторы стали стандартными конструкциями и ими всё ещё продолжают пользоваться

# История появления

- Существенная экспериментальная работа в 1942 году привела к появлению детектора с частотной модуляцией. Известный как ЧМ Локатор, он показал себя очень стабильным и его особенностью была регулировка баланса земли.
- В 1943 году Вильям Блэкмер усовершенствовал схему на биениях. В том же году был разработан мост Винстона для измерений сопротивлений в миноискателе. Это устройство, толкаемое вперёд по земле как поломоечная машина, было собрано из 250 компонентов, содержащихся в 29 блоках.
- В 1946 Гарри Фор опубликовал чертежи для постройки детектора на биениях с электрической связью. Его конструкция была рассчитана на продвинутых экспериментаторов, и пока ещё не так сильно как коммерческие приборы удерживала отличные позиции в качестве оригинального детектора Чилсона. В конструкцию были добавлены многие усовершенствования. Прибор мог обнаружить пластину металла площадью один квадратный фут на расстоянии 12 дюймов. Индикация осуществлялась увеличением или уменьшением "кучающих" звуков.

# История появления

- В Советском Союзе первый металлоискатель был создан инженером Б. Кудымовым в 1936 году.



# История появления

- Усовершенствованный к 1939 году, этот металлоискатель применялся советскими войсками в советско-финской войне 1939 - 40 гг. и в Великой Отечественной Войне 1941 - 45 гг.
- Конструкция этого прибора позволяла использовать в качестве штанги винтовку



# История появления

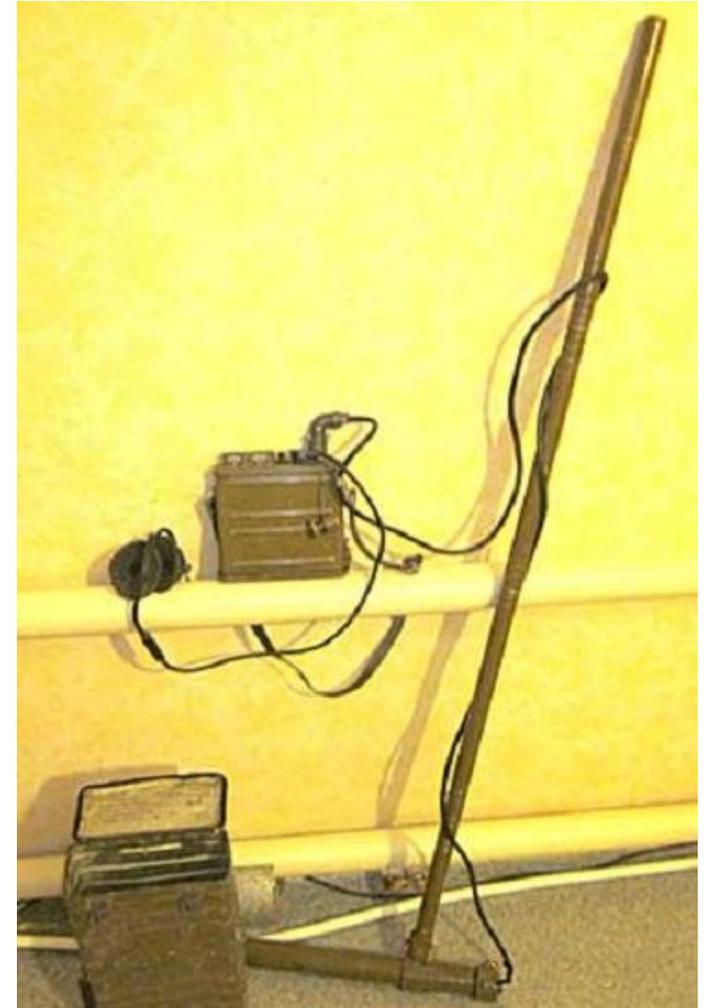
- электронная начинка металлоискателя ВИМ- 203



# История появления

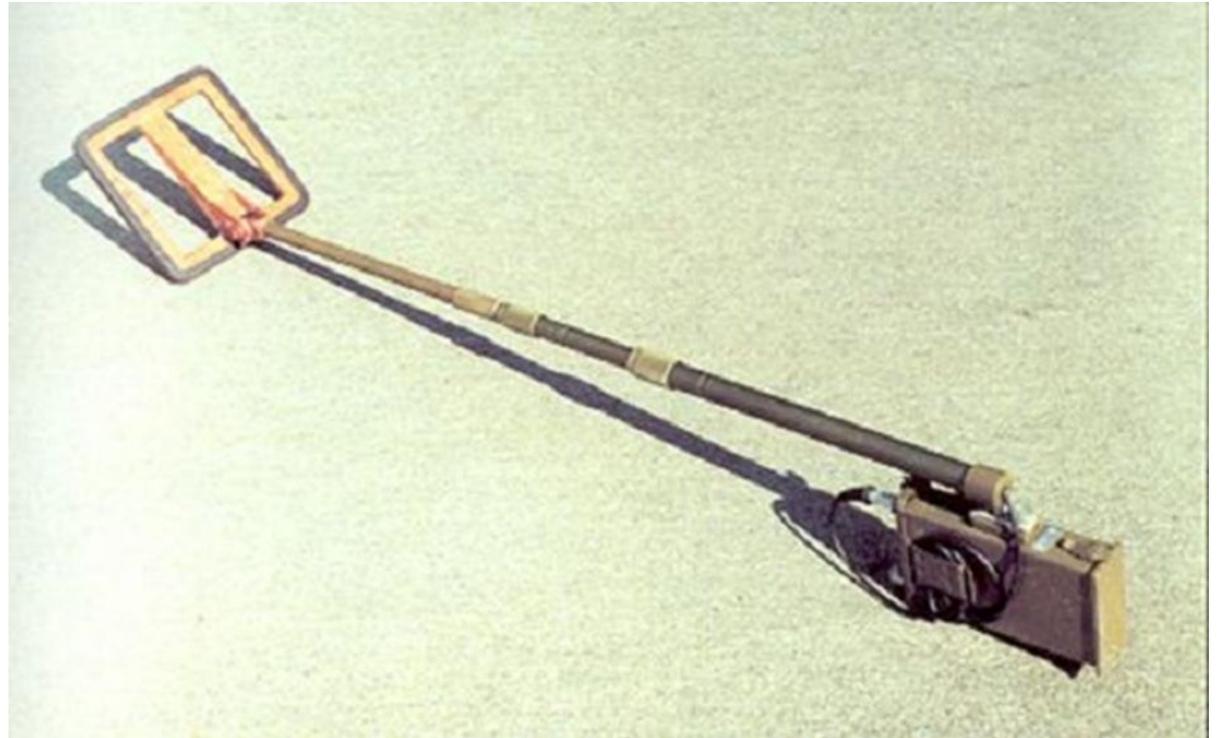
- После войны работа по совершенствованию металлоискателя продолжалась. Завод был переименован в Томский завод измерительной аппаратуры. А разработкой нового металлоискателя занялся Томский НИИ "Проект". В 1969 году был запущен в серийное производство металлоискатель ИМП.

Металлоискатель получился удачным и был принят на вооружение. Простой и удобный металлоискатель ИМП уже тогда имел автоматическую подстройку и мог работать от различных источников питания.



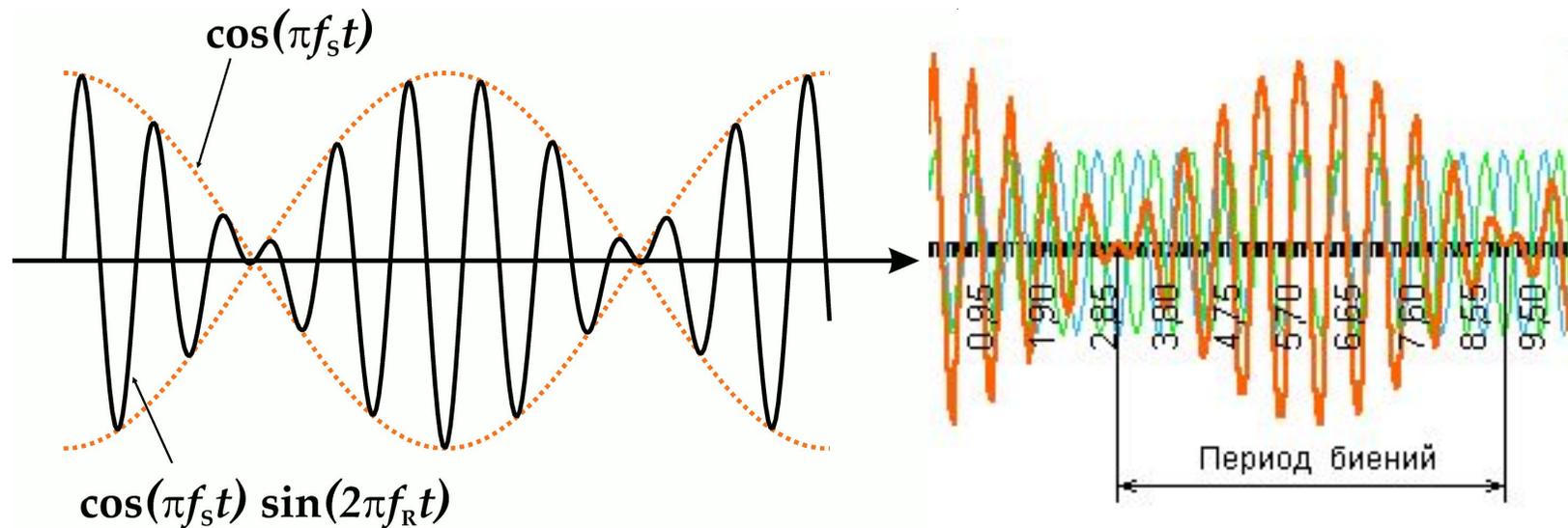
# История появления

- Металлоискатель ИМП с небольшими доработками (ИМП-2) до сих пор стоит на службе российской армии.



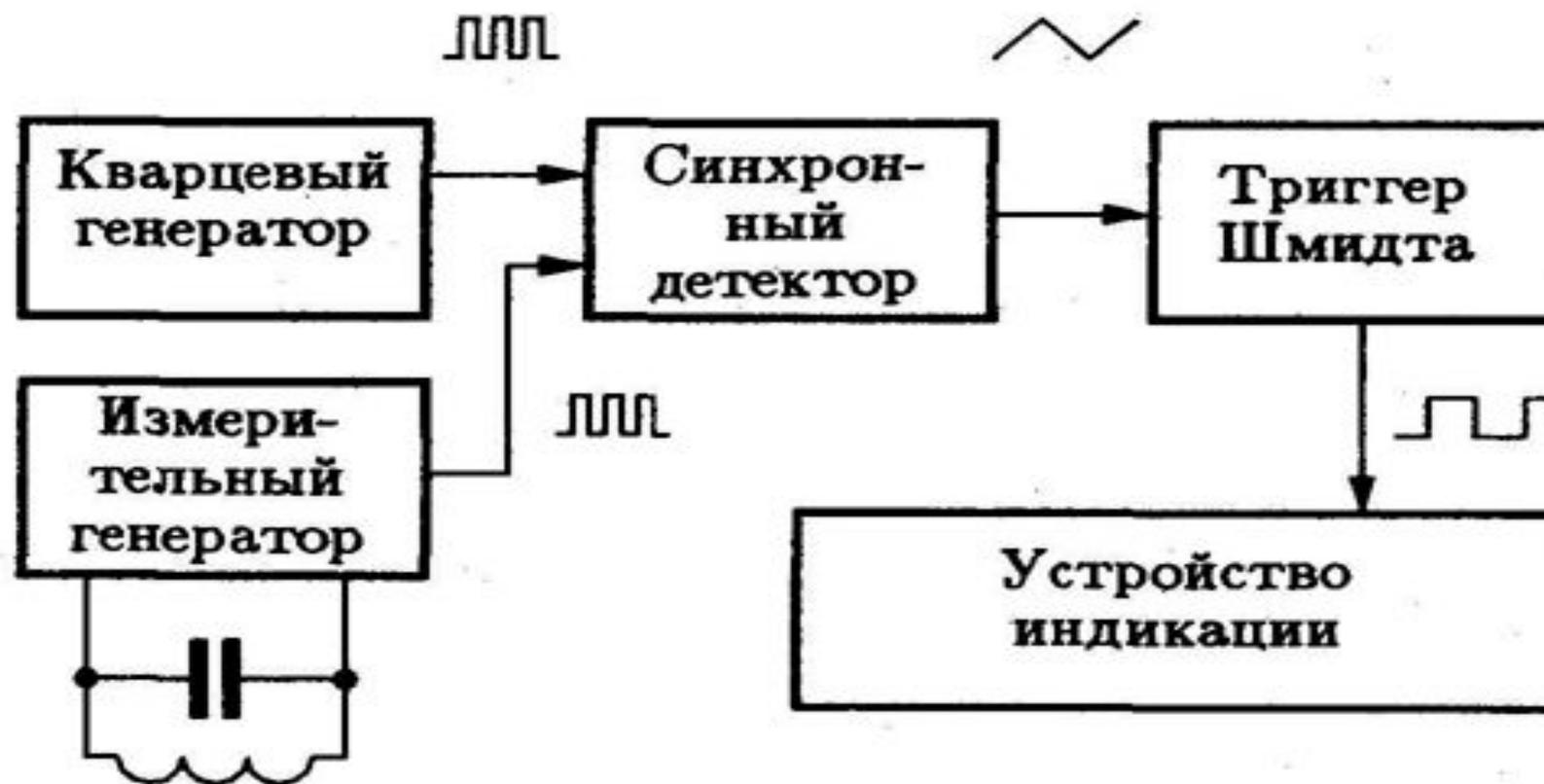
# Принцип действия металлоискателя на биениях

# Что такое биение?

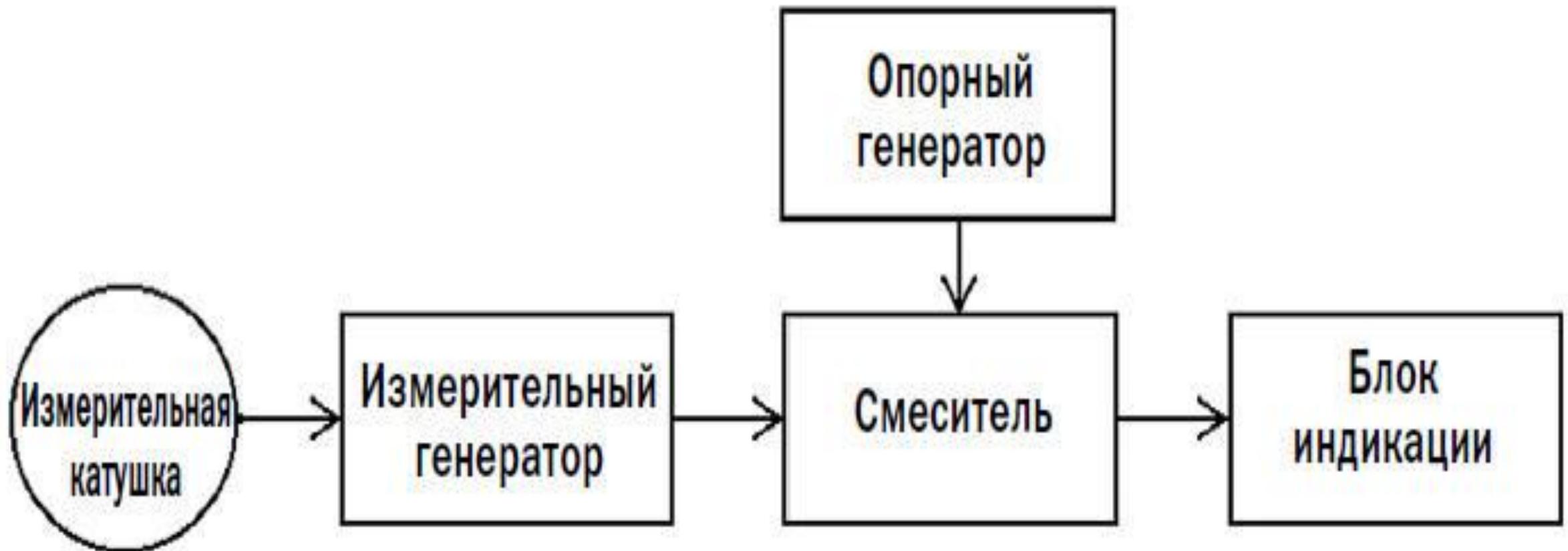


$$A \sin \alpha_1 t + A \sin \alpha_2 t = 2A \cos \left[ \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} t \right] \sin \left[ \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} t \right],$$

# Обобщенная структурная схема металлоискателя



# Обобщенная структурная схема металлоискателя



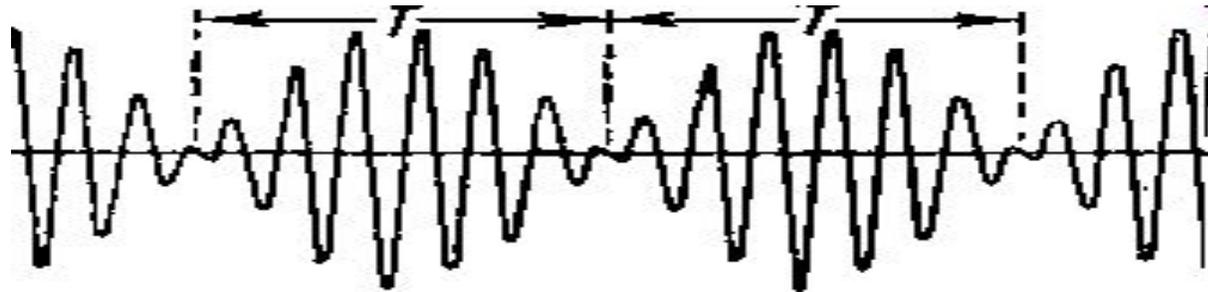
# Принцип работы металлоискателя



Сигнал первого генератора

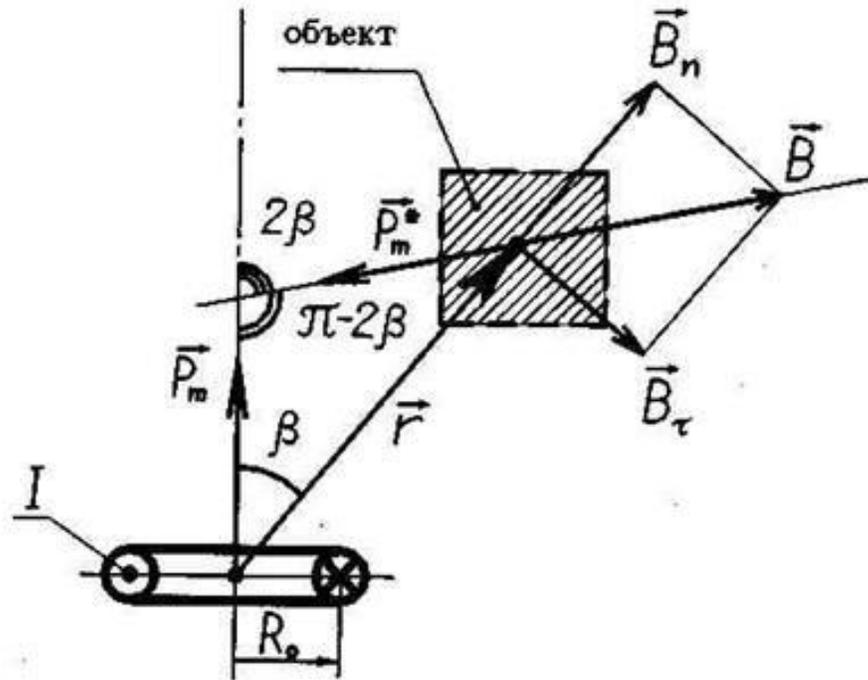


Сигнал второго генератора



Сигнал получившийся при сложении синусоид  
двух генераторов

# Принцип работы датчика металлоискателя на биениях



$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2R_0} = \frac{\mu_0 P_m}{2R_0 S},$$

$$B_0 = - (\mu_0 / (2\pi))^2 \cdot (K_1 / r^6) \cdot P_m$$

$$\delta(p) = (B_0 / B_1)$$

$$Z(p) = pL(1 + \delta(p))$$